

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
HORNICKO – GEOLOGICKÁ FAKULTA
INSTITUT GEODÉZIE A DŮLNÍHO MĚŘICTVÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Zaměření a zpracování měřických pozorování pro hodnocení
porušování pevného nadloží v oblasti Stonava

The Measurement and Processing Surveying Observations to
Assessment of Failure of the Firm Roof in Stonava Area

Vedoucí diplomové práce:	Ing. Eva Jiránková, Ph.D.
Studijní obor:	Inženýrská geodézie
Datum zadání:	31.10.2010
Datum odevzdání:	30.4.2011

Ostrava 2011

Bc. Sandra Průchová

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Sandra Průchová**

Studijní program: N3646 Geodézie a kartografie

Studijní obor: 3646T007 Inženýrská geodézie

Téma: **Zaměření a zpracování měřických pozorování pro hodnocení porušování
pevného nadloží v oblasti Stonava**
**The Measurement and Processing Surveying Observations to
Assessment of Failure of the Firm Roof in Stonava Area**

Zásady pro vypracování:

1. Stabilizujte pozorovací stanici pro periodická měření výšek v dané oblasti a stabilizované body polohově zaměřte.
2. Proved'te periodická měření výšek metodou technické nivelace v požadovaných dobách měření.
3. Vyhodnoťte naměřená data a proved'te rozbor charakteristik přesnosti měření.
4. Výškovou síť bodů pozorovací stanice vyrovnejte.
5. Proved'te grafické zpracování vyrovnaných výšek povrchových bodů.

Seznam doporučené odborné literatury:


BLAŽEK, R., SKOŘEPA, Z.: *Geodézie 3*, Skripta ČVUT Praha, 2006
SCHENK, J.: *Měření pohybů a deformací v poklesové kotlině*, Skripta VŠB-TU Ostrava, 1999
HAMPACHER, M., RADOUCH, V.: *Teorie chyb a vyrovnávací počet 10*, Skripta ČVUT Praha, 2003
HAMPACHER, M., RADOUCH, V.: *Teorie chyb a vyrovnávací počet 2*, Skripta ČVUT Praha, 2004

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

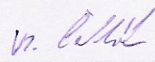
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Eva Jiráňková, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2010

Datum odevzdání: 30.04.2011


Ing. Václav Mikulenka, Ph.D.
vedoucí institutu




prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., dr.h.c.
děkan fakulty

Prohlášení

- Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracovala samostatně a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.
- Byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Souhlasím s tím, že diplomová práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 30.4.2011

Bc. Sandra Průchová

Průchová

Na tomto místě bych chtěla poděkovat vedoucí mé diplomové práce Ing. Evě Jiráňkové, Ph.D. za odborné a věcné poznámky k vypracování. Poděkování patří také моým rodičům za finanční a morální podporu při studiu.

Anotace

Zaměření a zpracování měřických pozorování pro hodnocení porušování pevného nadloží v oblasti Stonava

Tato diplomová práce si klade za cíl vybudování pozorovací stanice a její výškové zaměření na poddolovaném území v oblasti Stonava. Řeší následné vyhodnocení poklesů bodů za použití metod vyrovnávacího počtu. Zabývá se možnostmi grafické prezentace ve formě prostorových modelů a podélných profilů.

Klíčová slova:

Stonava, Holkovice, nivelace, vyrovnávací počet, profil, pozorovací stanice, pokles, přesnost, GPS, RTK, kalibrace

Annotation

The Measurement and Processing Surveying Observations to Assessment of Failure of the Firm Roof in Stonava Area

The aim of this thesis is to build an observation station and its height survey on an undermined zone in the Stonava area. It solves the following assessment of the points depression by means of methods of an Adjustment. It deals with the possibility of a graphic presentation in a form of three-dimensional models and longitudinal profiles.

Key words:

Stonava, Holkovice, leveling, Adjustment, profile, observation station, subsidence, accuracy, GPS, RTK, calibration

Obsah

1	ÚVOD.....	1
1.1	CÍL	1
2	POPIS LOKALITY	2
2.1	OBEC STONAVA	2
2.2	DŮL ČSM	4
3	ZÁKLADNÍ POZNATKY POHYBU HORNIN ZPŮSOBENÉ VLVEM DOBÝVÁNÍ.....	6
3.1	MEZNÝ ÚHEL VLVU	6
3.2	PLNÁ ÚČINNÁ PLOCHA	7
3.3	POKLESOVÁ KOTLINA.....	8
3.3.1	<i>Ohraničení poklesové kotliny.....</i>	<i>8</i>
3.3.2	<i>Vliv hloubky uložení ložiska na poklesovou kotlinu</i>	<i>9</i>
3.3.3	<i>Pohyby a deformace v poklesové kotlině</i>	<i>9</i>
3.3.4	<i>Metody měření pohybů a deformací v poklesové kotlině</i>	<i>10</i>
4	POZOROVACÍ STANICE	13
4.1	ROZDĚLENÍ POZOROVACÍCH STANIC	13
4.2	STABILIZACE BODŮ POZOROVACÍCH STANIC	13
4.3	TVARY POZOROVACÍCH STANIC	14
5	POUŽITÉ METODY A PŘÍSTROJE	15
5.1	VÝŠKOVÉ MĚŘENÍ.....	15
5.1.1	<i>Geometrická nivelace ze středu</i>	<i>15</i>
5.1.2	<i>Použité pomůcky a přístroje</i>	<i>15</i>
5.2	POLOHOVÉ MĚŘENÍ	20
5.2.1	<i>Globální družicový polohový systém</i>	<i>20</i>
5.2.2	<i>GPS NAVSTAR</i>	<i>20</i>
5.2.3	<i>Kinematická metoda v reálném čase (RTK).....</i>	<i>22</i>
5.2.4	<i>Síť permanentních stanic CZEPOS.....</i>	<i>23</i>
5.2.5	<i>Použité přístroje a pomůcky</i>	<i>24</i>
6	VYROVNÁVACÍ POČET	26
6.1	VYROVNÁNÍ ZPROSTŘEDKUJÍCÍCH MĚŘENÍ	26

6.1.1	<i>Formulace úlohy</i>	26
6.1.2	<i>Postup vyrovnnání</i>	26
6.2	VYROVNÁNÍ MĚŘENÍ S DANÝM SOUČTEM	29
7	VLASTNÍ MĚŘENÍ	30
7.1	REKOGNOSKACE TERÉNU A STABILIZACE POZOROVACÍ STANICE	30
7.2	VÝŠKOVÉ MĚŘENÍ	31
7.3	POLOHOVÉ MĚŘENÍ	32
8	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ	34
8.1	URČENÍ PŘESNOSTI VÝŠKOVÉHO MĚŘENÍ	34
8.1.1	<i>Ověření totožnosti, neměnnosti výchozího bodu Ge1-8.2 pro připojovací měření</i>	34
8.1.2	<i>Rozbor přesnosti připojovacího měření</i>	35
8.1.3	<i>Určení projektované přesnosti výšek na pozorovací stanici</i>	36
8.1.4	<i>Ověření přesnosti měření nivelačních pořadů na stanici</i>	37
8.2	INTERPOLACE A EXTRAPOLACE VÝŠKY BODU Č. 33	39
8.3	VYROVNÁVACÍ POČET	39
8.3.1	<i>Vyrovnnání měření zprostředkujících</i>	39
8.3.2	<i>Vyrovnnání s daným součtem</i>	40
8.4	VÝPOČET POKLESŮ BODŮ	40
8.5	POLOHOVÉ SOUŘADNICE BODŮ POZOROVACÍ STANICE	42
8.6	OBLAST PLNÉ ÚČINNÉ PLOCHY PRO PORUB Č. 300402	43
9	GRAFICKÉ ZPRACOVÁNÍ ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ	44
10	ZÁVĚR	45
11	POUŽITÁ LITERATURA	46
12	SEZNAM OBRÁZKŮ	47
13	SEZNAM TABULEK	48
14	SEZNAM PŘÍLOH	49

Seznam použitých zkratek

Bpv – výškový systém baltský - po vyrovnání

CD – kompaktní disk

CZEPOS - Česká síť permanentních stanic pro určování polohy

ČSM – Československý svaz mládeže

ETRS-89 – evropský pozemní referenční systém

GNSS - globální navigační satelitní systém

GPS - vojenský globální družicový polohový systém

hPa - hektopascal

IRNSS – indický regionální navigační satelitní systém

kB - kilobyte

MS - Microsoft

NAVSTAR - Navigation Signal Timing and Ranging

OKD – Ostravsko-karvinské doly

QZSS - Quasi-Zenith Satellite System

RTK – Real Time Kinematic

S-JTSK – Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální

VRS – virtuální referenční stanice

VŠB-TUO – Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

WGS-84 - Světový geodetický systém 1984

1 Úvod

Ostravsko-karvinský revír je jediným zdrojem černého uhlí v České republice. Je tu 90% veškerých zásob černého uhlí. Nachází se v jižní části hornoslezské pánve. Těžba uhlí probíhá především hlubinným dobýváním, dnes již mechanizovanými postupy.

Hlavním producentem černého uhlí v Ostravsko-karvinském revíru je firma OKD, a.s. Tato firma aktivně těží ve čtyřech dolech: Důl Karviná, ČSM, Darkov a Paskov. Pro tuto diplomovou práci bude důležitá oblast nacházející se nad dolem ČSM.

Těžba černého uhlí sebou nenese jen pozitiva, ale i negativa. Negativní účinky se projevují na zdejší krajině a na životním prostředí. Jedním z hlavních činitelů mající vliv na povrch a povrchové objekty jsou vlivy poddolování. Pro navržení efektivního způsobu ochrany povrchových objektů se využívá pravidelných sledování pohybů a deformací. K deformacím a různým pohybům dochází i několik let po ukončení těžby, proto je potřeba objekty i nadále sledovat.

1.1 Cíl

Cílem této diplomové práce je vytvoření prostorového modelu části utvářené poklesové kotliny ve 4. kře Dolu ČSM. Prostorový model bude zpracovaný z vlastních měření a to nivelačních měření ve třech etapách a polohového zaměření bodů pozorovací stanice. Nově stabilizované body pozorovací stanice budou navrženy tak, aby navazovaly na body stávajících měřických přímek. Dále bude provedeno vyrovnaní výškové sítě. Ze zpracovaných výsledků budou vytvořeny podélné profily a prostorový model zjištěných poklesů.

2 Popis lokality

Lokalita Holkovice se nachází na východním okraji dobývacího prostoru dolu ČSM. V této oblasti byly dobývány poruby ve sloji č. 28, 29 a 30 (karvinské číslování), které náleží k sušským vrstvám karvinského souvrství. Sloj č. 29 se nachází v hloubce cca 750m pod povrchem a dobývaná mocnost se pohybuje mezi 1,5-3,2m, sloj č. 30 je v hloubce cca 800m, dobývaná mocnost je 2,5-4,2m. Mezi sloji č. 29 a č. 30 je tvořeno převážně pískovci s vložkami prachovce a mezislojová vzdálenost je cca 50 metrů [8].

2.1 Obec Stonava

Stonava leží jižním směrem od města Karviná. Obec se rozkládá na pravém břehu řeky Stonávky. Jižním směrem od obce leží přehradní nádrž Těrlicko a jihovýchodním směrem se rozkládá město Český Těšín. Nedaleko obce jihovýchodním směrem se rozprostírá rozlehlý Loucký les. Na území obce pracuje několik černouhelných dolů a západním a východním směrem od obce jsou vodní plochy kaliště.

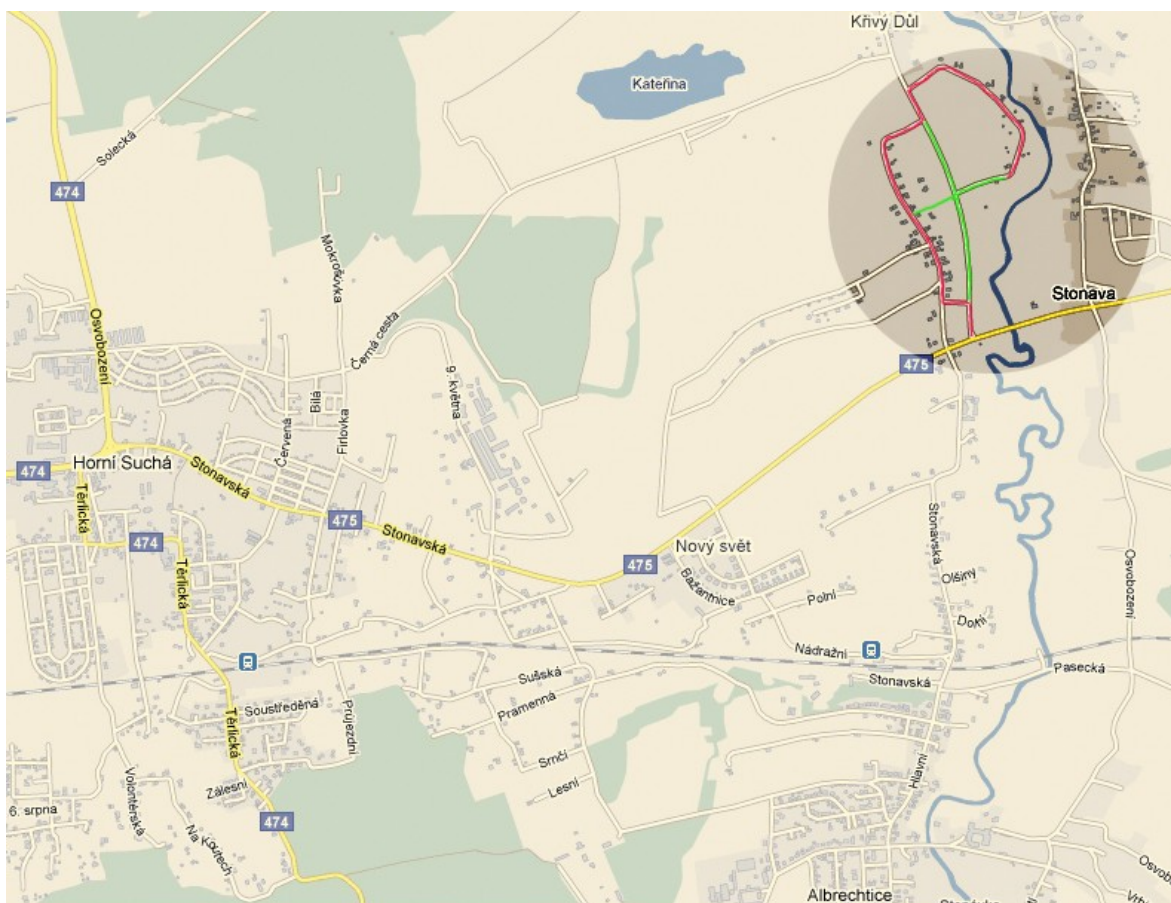
Ve středu obce v sousedství kulturního domu bylo vybudováno hřiště na minigolf a dětské hřiště. V jižní části obce najdeme Farmu Stonavu, která produkuje jateční prasata. Kromě toho pracují v obci také stavební firma, šicí dílna a významná firma zabývající se výrobou plynů. V posledních několika letech prodělala obec rozsáhlou rekonstrukci [20].



Obr. 1 Znak obce Stonava

Základní údaje [22]:

- ✓ kraj: Moravskoslezský
- ✓ okres: Karviná
- ✓ katastrální území: Stonava
- ✓ obec s rozšířenou působností a pověřená obec: Karviná
- ✓ historická země: Slezsko
- ✓ katastrální výměra: 13,86 km²
- ✓ počet obyvatel: 1 946 (1. 1. 2010)
- ✓ základní sídelní jednotky: 3
- ✓ části obce: 1



Obr. 2 Poloha obce Stonava se zvýrazněním měřeného úseku [3]

2.2 Důl ČSM

Důl ČSM se nachází ve východní části karvinské dílčí pánve. Územně je členěn do dvou větrných oblastí sever a jih se samostatnými dvojicemi úvodních a výdušných jam. Organizačně je členěn na dva těžební závody, důlní závod Sever a důlní závod Jih. Úpravna je v lokalitě sever a má kapacitu 1100 tun za hodinu. Dobývací prostor se nachází v katastrech obcí Stonava, Karviná, Albrechtice a Chotěbuz. Díky rozsáhlé investiční výstavbě v 90. letech a po roce 2000 se předpokládá životnost dolu nejméně do roku 2028 [13].

Důl ČSM v číslech [13]

- Produkce r. 2009 - cca 2,4 mil. tun
- Rozloha důlního pole - cca 22 km²
- Zásoby k 1.1.2010 (dle mezinárodní klasifikace JORC) - cca 50 mil. tun

Hloubka

Nejhlubší je vtažná jáma ČSM-jih - 1103 m, která při nadmořské výšce ústí 277 metrů dosahuje 826 metrů pod úroveň mořské hladiny.

Technologie dobývání a ražení

Technologie dobývání uhlí je vzhledem k dobývaným mocnostem a geologickým podmínkám orientována na vysoký stupeň mechanizace. Používanou dobývací metodou je směrné stěnování na řízený zával s využitím dobývacích kombajnů a mechanizované výztuže. Přípravné chodby jsou raženy převážně razíci kombajny, v menší míře jsou využívány trhací práce a škrabákové nakladače, případně razící komplexy [13].

Historie

Důl ČSM má poměrně krátkou historii, která začíná až po druhé světové válce. V 50. letech proběhly v okolí obce Stonava průzkumné vrty, které potvrdily existenci kompletního karbonského souvrství. Na základě těchto výsledků bylo

rozhodnuto o vzniku dolu se dvěma závody (ČSM-sever a ČSM-jih). Výstavba prohlášená za Stavbu mládeže začala 16. června 1959 [13].

Kvůli komplikovaným hydrogeologickým a plynovým poměrům bylo možné zahájit těžbu až koncem roku 1968 [13].



Obr. 3 Důl ČSM

3 Základní poznatky pohybu hornin způsobené vlivem dobývání

Při hlubinném dobývání ložisek dochází v podzemí k vytváření prázdných prostorů, které se hned nebo po nějaké době následkem soustředěného napětí v okolních horninách opět zaplní buď většími či menšími úlomky hornin, anebo pružným sblížením nadloží s podložím [11]. Následkem tohoto zaplňování dochází na povrchu k pohybům a deformacím, které na povrchu vytvoří tzv. *poklesovou kotlinu*.

Pohyby nadložních vrstev a tedy i povrchu závisí ve svém průběhu a rozsahu i na dalších činitelích.

Nejdůležitější činitelé:

- mechanické vlastnosti hornin
- geologické podmínky uložení
- prostoroví činitelé
 - ✓ mocnost ložiska
 - ✓ mezný úhel vlivu
 - ✓ plošný rozsah vlivu dobývacích prací
 - ✓ morfologie povrchu
- provozní činitelé
 - ✓ způsoby dobývání užitkového nerostu
 - ✓ předchozí porušení nadloží dobýváním – hrozí aktivace stařin
- časový průběh a délka trvání pohybů
 - ✓ rychlost postupu porubní fronty
 - ✓ rychlost klesání nadložních vrstev

3.1 Mezný úhel vlivu

Mezný úhel vlivu ohraničuje hlavní vliv dobývání sloje na povrch. Je to úhel, který leží ve svislé rovině, kolmé na hranu porubu a jehož jedno rameno tvoří spojnice okraje vyrubané plochy s okrajem poklesové kotliny a druhé rameno je vodorovná přímka směřující od hrany porubu do nevyrubaného prostoru [12].

Je to základní veličina sloužící pro výpočet předběžných hodnot poklesů a deformací povrchu i objektů na povrchu. Mezný úhel je základní veličinou pro teoretické a praktické úvahy o tvaru a velikosti poklesové kotliny.

V Ostravsko-karvinském revíru byly na základě dlouhodobých zkušeností přijaty tyto hodnoty mezných úhlů vlivu:

- v karbonských vrstvách $\mu_k = 65^\circ$
- v terciérním pokryvu $\mu_t = 55^\circ$

Pokud se dobývá v pohoří, které se skládá z pokryvných a karbonských hornin je nutné zavést průměrný mezný úhel vlivu:

$$\mu_p = \frac{\mu_t H_t + \mu_k H_k}{H_t + H_k}, \quad (3.1)$$

kde H_k je mocnost pokryvu a H_t je mocnost produktivních hornin.

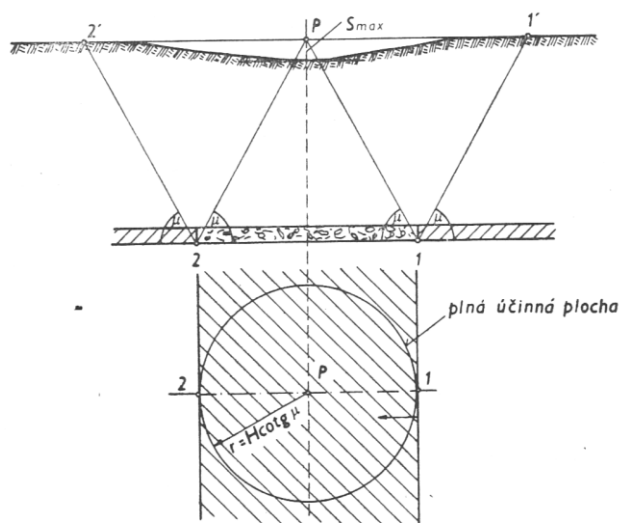
3.2 Plná účinná plocha

Plocha, která byla v ložisku vyrubaná, se přímo podílí na velikosti plochy zasažené dobýváním na povrchu. Oblast na povrchu ovlivněná dobýváním má vždy větší rozměr než plocha vyrubaného ložiska a tvar jejího obrysu se podobá tvaru obrysu plochy ložiska.

Jestliže tato plocha překročí určitou rozlohu, jež je závislá na hloubce ložiska a mezném úhlu, pak pokles dosáhne své maximální hodnoty s_{\max} a tato hodnota se zvětšující se plochou porubů nemění. Tato plocha je nazývána *plnou účinnou plochou*. Můžeme ji definovat tak, že plná účinná plocha je plocha v ložisku, kterou je nutno vyrubat, aby pokles uvažovaného bodu P v nadloží nebo na povrchu byl největší (obr. 4) [10].

Velikost plné účinné plochy je charakterizována poloměrem r . Ten je dán vztahem:

$$r = H \cdot \cot g\mu_p \quad (3.2)$$



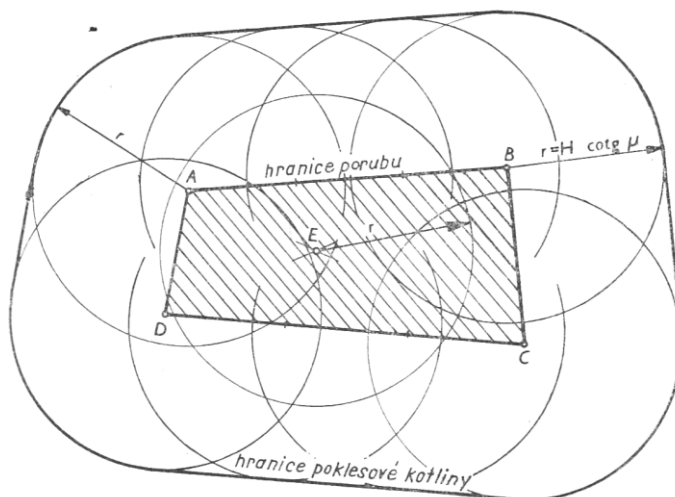
Obr. 4 Plná účinná plocha pro vodorovně uložené ložisko [11]

3.3 Poklesová kotlina

Poklesová kotlina vzniká dobýváním dostatečně velké plochy sloje. Tvar poklesové kotliny může být plynulý bez zjevných trhlin nebo nepravidelný, kdy se na povrchu vytvářejí trhliny, propadliny nebo zlomy. Postupně vznikající poklesová kotlina má většinou mísovitý či nálevkovitý tvar.

3.3.1 Ohraničení poklesové kotliny

U vodorovně uloženého ložiska je tvar poklesové kotliny dán tvarem vyrubané plochy, hloubkou ložiska a mezným úhlem vlivu. Pro vyrubané plochy omezené přímými čarami (obr. 5) je hranice poklesové kotliny dána křivkou kružnic, jejichž rozměr odpovídá plné účinné ploše [10]. Tvar poklesové kotliny je možné také vyjádřit kromě hranice poklesové kotliny také pomocí izočár stejného poklesu (izokatabázy). Toto zpracování se používá zejména u plošných pozorovacích stanic.



Obr. 5 Hranice poklesové kotliny u vodorovného ložiska [11]

3.3.2 Vliv hloubky uložení ložiska na poklesovou kotlinu

Hloubka uložení ložiska výrazně ovlivňuje rozsah i intenzitu deformací na povrchu i na objektech se na něm nacházejících. U ložisek, která se nacházejí do 30 metrů pod povrchem, hrozí u nepevného nadloží k prolomení a vzniku propadliny.

Při hloubce uložení ložiska od 30 – 200 metrů vznikají trhliny a schodové deformace povrchu a při hloubkách větších než 200 metrů má poklesová kotlina plynulejší tvar bez větších deformací.

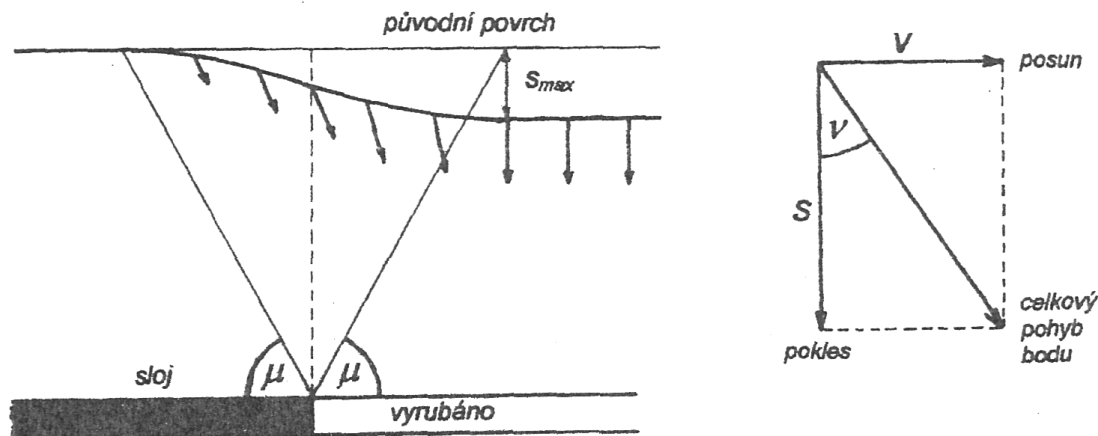
3.3.3 Pohyby a deformace v poklesové kotlině

Při hlubinném dobývání dochází k pohybu povrchu, tento pohyb má obecný směr, který dělíme na:

- Svislý (*poklesy*) s ,
- Vodorovný (*posuny*) v .

Z obr. 6 je patrné, že poklesů přibývá od okraje poklesové kotliny k jejímu středu až do vzdálenosti $2r$. Tato část poklesové kotliny se nazývá svah poklesové kotliny, v místě, kde dojde k plnému poklesu s_{\max} , se nazývá dno poklesové kotliny.

U bodů nacházejících se na dně poklesové kotliny předpokládáme pouze svislý pohyb, u bodů, které se nacházejí na svahu poklesové kotliny, se projeví obě složky pohybu, jak svislý tak vodorovný pohyb.



Obr. 6 Pohyb bodů na svahu poklesové kotliny [17]

Veličiny potřebné pro určení deformací a poklesů lze získat 2 způsoby:

- Přímě – měřením
 - ✓ poklesy s [mm],
 - ✓ posuny v [mm],
 - ✓ naklonění i [rad, mm/m, ‰],
 - ✓ poměrná vodorovná přetvoření ε [mm/m, ‰],
- Nepřímě – výpočtem z naměřených veličin
 - ✓ naklonění i [rad, mm/m, ‰],
 - ✓ křivost R [km],
 - ✓ poměrné vodorovné přetvoření ε [mm/m, ‰].

3.3.4 Metody měření pohybů a deformací v poklesové kotlině

Metody určování svislých pohybů

Svislý pohyb je vlastně pokles bodu pozorovací stanice ve vertikálním směru, který se určuje z rozdílu výšek naměřených na začátku a na konci daného období [17]. Platí tedy:

$${}^i s_{\Delta t_{j,k}} = {}^i H_{t_k} - {}^i H_{t_j}, \quad (3.3)$$

kde ${}^i s_{\Delta t_{j,k}}$ pokles bodu za dané období

${}^i H_{t_k}$ výška bodu na začátku časového období

${}^i H_{t_j}$ výška bodu na konci časového období

Přesnost určení poklesu:

$$m_s^2 = m_{H_{t_k}}^2 + m_{H_{t_j}}^2 \quad (3.4)$$

$m_{H_{t_k}}^2$ přesnost určení výšky bodu na začátku časového období

$m_{H_{t_j}}^2$ přesnost určení výšky bodu na konci časového období

Pokud se použije u obou měření stejná metoda, přesnost určení poklesu bude:

$$m_s^2 = \pm m_H \sqrt{2} \quad (3.5)$$

Používané metody pro určení výšek:

- Geometrická nivelace,
- Hydrostatická nivelace,
- Trigonometrická nivelace,
- Fotogrammetrie,
- Technologie GPS.

Metody určování vodorovných pohybů

Vodorovný pohyb je posun bodu pozorovací stanice ve vodorovném směru, který se určuje z rozdílu polohy bodu naměřeného na začátku a na konci daného období [16]. Platí tedy:

$${}^i v_{\Delta t_{j,k}} = \sqrt{\left({}^i X_{t_k} - {}^i X_{t_j}\right)^2 + \left({}^i Y_{t_k} - {}^i Y_{t_j}\right)^2}, \quad (3.6)$$

kde ${}^i v_{\Delta t_{j,k}}$ posun bodu za dané období

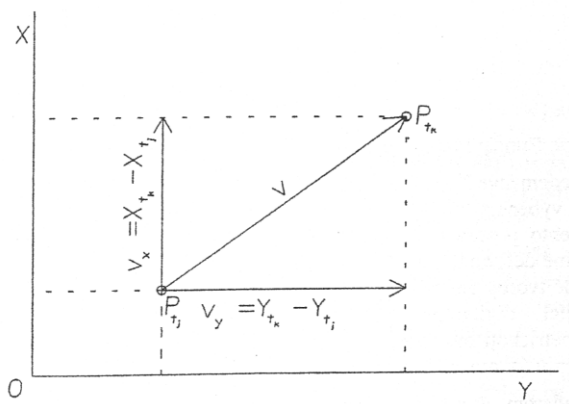
${}^i Y_{t_k}, {}^i X_{t_k}$ souřadnice bodu na začátku časového období

${}^i Y_{t_j}, {}^i X_{t_j}$ souřadnice bodu na konci časového období

Směr posunu bodu i je

$${}^i \sigma_{\Delta t} = \arctg \frac{{}^i Y_{t_k} - {}^i Y_{t_j}}{{}^i X_{t_k} - {}^i X_{t_j}} \quad (3.7)$$

Rozdíly souřadnic za dané období představují vodorovné složky posunu ve směru souřadnicových, které značíme v_x, v_y .



Obr. 7 Určování vodorovných posunů za souřadnic [17]

Přesnost určení posunu:

$$m_v^2 = m_{P_{ik}}^2 + m_{P_{ij}}^2 \quad (3.8)$$

$m_{P_{ik}}^2$ přesnost určení polohy bodu na začátku časového období

$m_{P_{ij}}^2$ přesnost určení polohy bodu na konci časového období

Celková střední chyba v poloze bodu:

$$m_p^2 = m_x^2 + m_y^2 \quad (3.9)$$

m_x, m_y přesnost určení souřadnic X a Y

Pokud se použije u obou měření stejná metoda, přesnost určení posunu bude:

$$m_v^2 = \pm m_p \sqrt{2} \quad (3.10)$$

Používané metody pro polohy bodů:

- Určování polohy bodů na měřických přímkách
 - ✓ Pomocí ordinátometru
 - ✓ Metodou rajónu
- Polygonometricky
- Trigonometricky
 - ✓ Triangulací
 - ✓ Trilaterací
 - ✓ Protínáním

4 Pozorovací stanice

Pro sledování vlivů poddolování, které jsou následkem dobývání nerostných surovin, je nutné vybudovat *pozorovací stanici*. Tato stanice nám slouží pro periodické sledování změn polohy stabilizovaných bodů. Výsledky měření nám budou sloužit pro zpřesnění zákonitostí těchto změn v souvislosti s postupem dobývacích prací. Měření se také používá pro sledování stability povrchových objektů a zařízení, popřípadě pro jejich zajištění [17].

Pozorovací stanice se zřizují pro zjištění následujících parametrů:

- *Rozsah poklesové kotliny* - ten je dán velikostí *mezných úhlů* μ , čímž lze zjistit území dotčené vlivy poddolování a poloměr plné účinné plochy r .
- *Svislé poklesy* s a určení jejich maximální hodnoty. Z poklesů určíme i odvozené hodnoty – *naklonění* i a *poloměr zakřivení* R
- *Vodorovné posuny* v a jejich *směr* σ i z nich odvozená *přetvoření* ε (*stlačení nebo roztahení*)

4.1 Rozdělení pozorovacích stanic

Podle účelu dělíme pozorovací stanice na [17]:

- pro pozorování poklesů,
- pro pozorování posunů,
- pro pozorování vodorovných posunů,
- pro pozorování naklonění,
- víceúčelové, smíšené.

4.2 Stabilizace bodů pozorovacích stanic

Nejčastěji se stanice zřizují pro sledování poklesů. Způsob stabilizace bodů pozorovací stanice je závislý na rozsahu a účelu jejich zřízení. Nejjednodušší je stabilizace stanice pro sledování svislých poklesů. Body se stabilizují těmito způsoby:

- čepovou značkou na zdech objektů,

- svorníky zabetonované v 1m hlubokém vrtu o \varnothing 15 – 20 cm (extravilán),
- hloubková stabilizace s ukotvením svorníku až v pevném podloží (nepevné podloží).

4.3 Tvary pozorovacích stanic

Tvar pozorovací stanice je závislý na velikosti poklesové kotliny. Pro malá nehluboká ložiska je pozorovací stanice zvolena tak, aby její krajní body byly mimo vlivy poddolování [17].

Pozorovací stanice se dělí podle jejího tvaru:

- liniové
 - ✓ měřické přímky
 - ✓ osově kříže
 - ✓ několik profilů
 - ✓ zalomené přímky
 - ✓ trojúhelníkové řetězce
- plošné

Máme-li velká a hluboká ložiska, je pozorovací stanice zřízena pro pozorování omezené části poklesové kotliny. Tato pozorovací stanice musí být připojena jak výškově, tak polohově z nepoddolovaného území. Výškové připojení se většinou provádí pomocí geometrické nivelace a polohové připojení lze provést pomocí triangulační nebo trilaterální sítě, polygonometricky nebo metodou GNSS.

Největší nevýhodou liniové pozorovací stanice je, že naměřené hodnoty deformací platí ve směru linie a nemusí být tedy hodnotami maximálními. V těchto případech lze použít trojúhelníkové řetězce, kde dostaneme hodnoty maximálních deformací. Pro spolehlivé určení hodnot deformací je výhodná plošná pozorovací stanice.

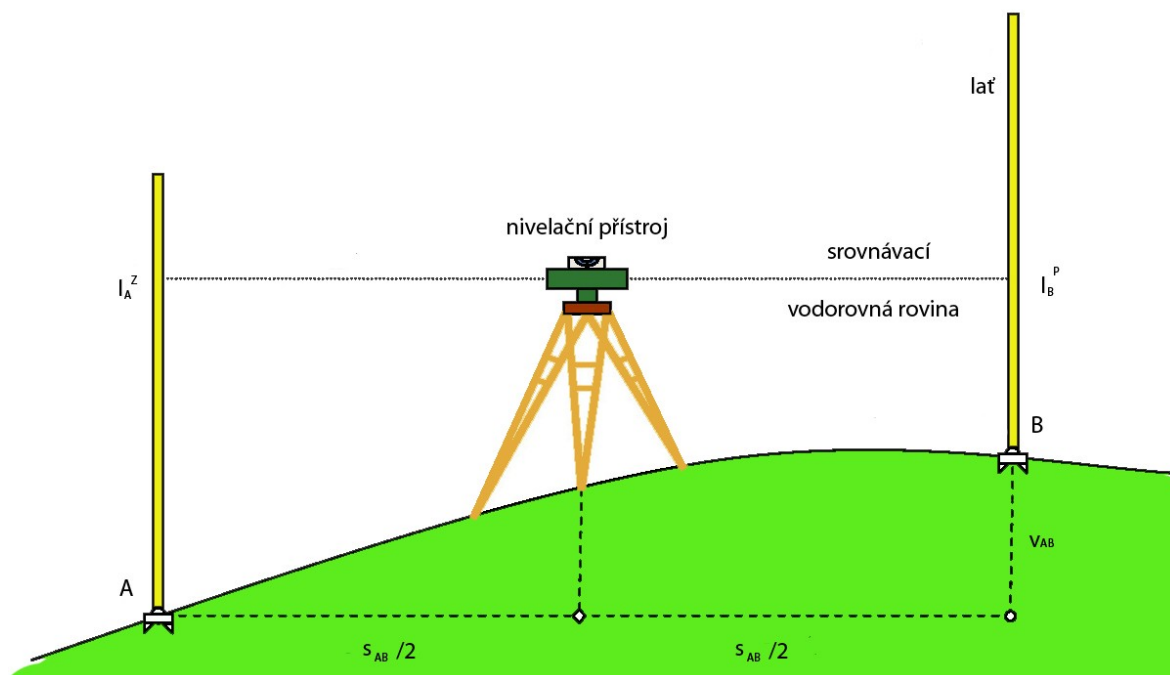
5 Použité metody a přístroje

5.1 Výškové měření

Požadované podmínky pro přesnost výškového měření v dané lokalitě nejlépe splňovala metoda geometrické nivelace ze středu. Jako další alternativa se nabízela metoda GNSS – RTK s připojením na síť CZEPOS (přesnost v určení výšky dle [2] je $\pm 2,5$ cm) a dále trigonometrické určení výšek. Pro výšková měření byl použit digitální nivelační přístroj Leica NA 3003.

5.1.1 Geometrická nivelace ze středu

Pro zjištění přesného výškového rozdílu dvou vzdálených bodů bylo vhodné použít technickou nivelaci se zvýšenou přesností. Postupuje se metodou geometrické nivelace ze středu. Tato metoda je výhodná tím, že oproti geometrické nivelaci vpřed vylučuje mnohé chyby, které nivelační přístroj vytváří i po rektifikaci.



Obr. 8 Geometrická nivelace ze středu

5.1.2 Použité pomůcky a přístroje

- digitální nivelační přístroj Leica NA 3003

- stativ Leica
- sada nivelačních kódových invarových latí Leica
- nivelační podložky

Parametry digitálního nivelačního přístroje Leica NA 3003

Pro účely diplomové práce byl institutem Geodézie a kartografie VŠB-TU Ostrava zapůjčen digitální nivelační přístroj Leica NA 3003 (obr. 9), podrobné parametry jsou uvedeny v tabulce č. 1 [18].

Tab.č.1 Podrobné parametry digitálního nivelačního přístroje Leica NA 3003

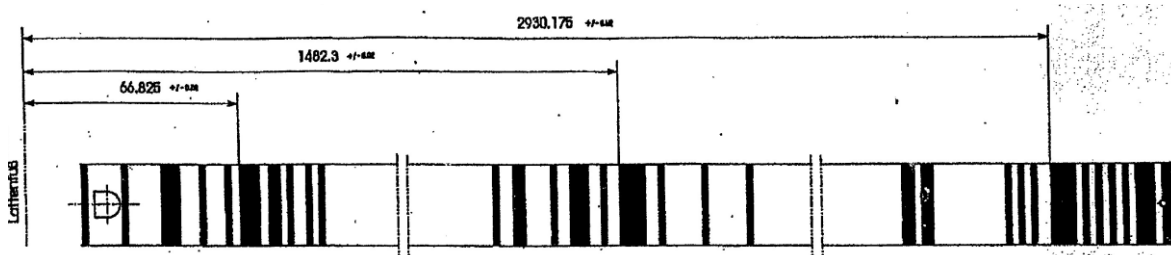
Dalekohled	zvětšení	24 x
	zorné pole	2°
Kompenzátor	typ	kyvadlový s kontrolou rozsahu
	rozsah urovnání	12'
	přesnost urovnání	0,4"
Citlivost libely	krabicová	8' / 2 mm
Střední km chyba dvojité nivelace	s invarovou latí	0,4 mm
	se standardní latí	1,2 mm
Nejmenší čtení	standardní měření	0,1 mm
	přesné	0,01 mm
Rozsah měření	invarové latě	1,8 až 60 m
	standardní latě	1,8 až 100 m
Přesnost měření vzdálenosti	elektronické	1 až 5 cm
	optické	0,2 až 0,5 m
Doba měření	odečtení latě	4 sekundy
Registrace	typ paměti	karta
	kapacita	64 kB
	rozhraní RS 232	ano
Napájení	baterie	NiCd
	napětí, výkon	12V; 0,5Ah (8h provozu)
Teplotní rozsah	provozní	-20°C až +50°C
Odečtení latě	průběžné	ano
	n-násobné	1.99
	obrácená lat'	ano



Obr. 9 Leica NA 3003

Komparace nivelačních kódových invarových latí

Pro komparaci bylo nezbytné řídit se materiály, které byly poskytnuty firmou LEICA. Vyznačení komparačních míst je vidět na obrázku č. 10 a podle nich probíhalo samotné měření.



Obr. 10 Vyznačení komparačních míst pro latě LEICA

Před začátkem měření bylo nutné nechat laser minimálně 15 minut nažhavit. Invarový pás nivelační latě se musí přizpůsobit okolnímu prostředí, tudíž je potřeba nechat lať temperovat dostatečně předem v místnosti.

Latě, které byly zkoušeny, se položily ve vodorovné poloze na pilíře a upevnily pomocí držáků. Následně byly zaznamenány do počítače hodnoty okolní prostředí (teplota, tlak, vlhkost). Před samotným odečítáním je vhodné zjistit průměrné zaostření tak, aby se již během celého měření neměnilo, a to z důvodu nejistoty kolmosti tubusu mikroskopu na rovinu komparované latě (s přesností μm).

Počátek měření byl nastaven na první komparační místo, kde bylo čtení vynulováno. Dále byly odečítány hodnoty na třech laťových úsecích na desítitisíciny milimetru. Průměrná odchylka délky laťového metru byla vypočtena ze zjištěných

jednotlivých odchylek naměřených úseků od správného rozměru. Tyto odchylky jsou zároveň i opravami.



Obr. 11 Interferometr Renishaw ML-10

Naměřené údaje jsou uvedeny v tabulce č. 2 pro lať č. 27203 a v tabulce č. 3 pro lať č. 27188. Výsledky provedených komparací pro obě latě jsou uvedeny v ověřovacích listech č. 1/2010 resp. č. 2/2010 v příloze č. 7.



Obr. 12 Třímetrová kódová nivelační lať LEICA

Lat' číslo: 27203

- Měřila: Průchová Sandra
- Datum: 9.10.2009
- Ověřovací list číslo: 1/2010
- Teplota: 20°C
- Relativní vlhkost: 35%
- Tlak: 980 hPa

Tab.č.2 Komparace kódované nivelační latě č. 27203 laserovým interferometrem

	Délka	Lat'ový úsek	1.měření	2.měření	3.měření	Průměr	Naměřená délka lat'ového úseku	Odchylka od správné délky lat'ového úseku
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1	66,825	66,825	66,8252	66,8255	66,8249	66,8252	66,8252	-0,0002
2	1482,300	1415,475	1482,2960	1482,3000	1482,2960	1482,2973	1415,4721	0,0029
3	2930,175	1447,875	2930,1740	2930,1753	2930,1750	2930,1748	1447,8774	-0,0024
Σ								0,0002
							0,0002 / 2,9 = 0,0001 mm	

Lat' číslo: 27188

- Měřila: Průchová Sandra
- Datum: 9.10.2009
- Ověřovací list číslo: 2/2010
- Teplota: 20°C
- Relativní vlhkost: 35%
- Tlak: 980 hPa

Tab.č.3 Komparace kódované nivelační latě č. 27188 laserovým interferometrem

	Délka	Lat'ový úsek	1.měření	2.měření	3.měření	Průměr	Naměřená délka lat'ového úseku	Odchylka od správné délky lat'ového úseku
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1	66,825	66,825	66,8252	66,8247	66,8251	66,8250	66,8250	0,0000
2	1482,300	1415,475	1482,2994	1482,2990	1482,3008	1482,2997	1415,4747	0,0003
3	2930,175	1447,875	2930,1750	2930,1741	2930,1744	2930,1745	1447,8748	0,0002
Σ								0,0005
							0,0005 / 2,9 = 0,0002 mm	

Shrnutí výsledků komparace

Obě latě vyhovují plně předpisům, odchylky od správné délky laťového metru jsou uvedeny v tabulce č. 4 níže.

Tab.č.4 Odchylky od správné délky laťového metru

Výrobní číslo latě	č.27203	č.27188
Odchylka [mm]	0,0001	0,0002

5.2 Polohové měření

5.2.1 Globální družicový polohový systém

Globální družicový polohový systém (anglicky Global Navigation Satellite System, zkratkou GNSS) je služba umožňující za pomoci družic autonomní prostorové určování polohy s celosvětovým pokrytím. Uživatelé této služby používají malé elektronické radiové přijímače, které na základě odeslaných signálů z družic umožňují vypočítat jejich polohu s přesností na desítky až jednotky metrů. Přesnost ve speciálních nebo vědeckých aplikacích může být až několik centimetrů až milimetrů.

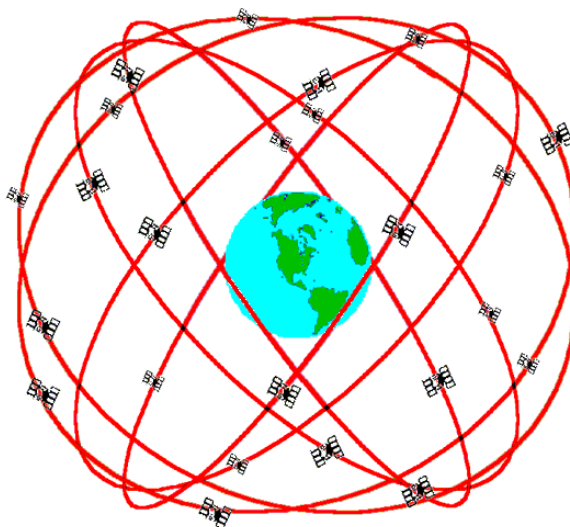
V roce 2011 je jediný plně funkční systém provozovaný armádou USA NAVSTAR GPS. Ruská vláda schválila znovuoobnovení GNSS GLONASS do plného operačního stavu a spolupracuje při použití tohoto systému s Indií. Vývoj probíhá na evropském GNSS Galileo, čínském Compass a s jejich uvedením do provozu se počítá po roce 2012. Mimo GNSS existují i regionální autonomní družicové polohové systémy jako je existující čínský Beidou-1 a vyvíjený indický IRNSS a japonský QZSS.

5.2.2 GPS NAVSTAR

Systém je tvořen třemi základními segmenty:

- Kosmickým – družice obíhající kolem Země
- Řídícím – stanice umístěné podél rovníku, které kontrolují a řídí družice
- Uživatelským – přijímače GPS signálu

Ačkoliv pro správnou funkci systému GPS jsou potřebné všechny tři segmenty, lze je do jisté míry považovat za nezávislé části, které jsou dohromady svázané jen přesným časem. Ten je koneckonců základním kamenem celého systému [12,13].



Obr. 13 Rozmístění družic na 6 oběžných drahách [14]

Pokrytí signálem GPS

Pod pojmem pokrytí se rozumí procento daného časového intervalu, po který je kdekoli na Zemi nebo v její blízkosti viditelný dostatečný počet družic s vyhovující geometrií určení polohy. Počet viditelných družic se během dne pohybuje mezi čtyřmi a dvanácti, nejčastěji je možné přijímat signály od osmi z nich [7].

Metody určení polohy pomocí GPS

Poloha přijímače GPS je určena geometrickým protínáním ze vzdáleností mezi satelity a aparaturou, které se určují zpracováním družicového signálu. Pro výpočet existuje několik metod a výpočetních postupů.

Přijímat a následně vyhodnocovat je možno tyto měřické veličiny:

- C/A kód nebo P(Y) kód
- fázi nosné vlny
- interferometrická měření
- Dopplerův frekvenční posun

Dnes jsou nejvíce používány GPS přijímače, pracující s C/A kódem nebo fází nosné vlny. Primárním souřadnicovým systémem je geocentrický WGS-84,

který většina dnešních přijímačů dokáže okamžitě transformovat do národních souřadnicových systémů [7].

Dělení metod měření

Metody měření GPS lze dělit podle několika dále uvedených kritérií.

- Podle měřených veličin:
 - ✓ kódové – využívají kódová měření,
 - ✓ fázové – využívají fázová měření,
 - ✓ kombinované – využívají fázové i kódové měření
- Podle doby získání výsledné polohy:
 - ✓ metody v reálném čase (real-time processing) – výsledky jsou známy okamžitě v terénu
 - ✓ metody s následným zpracováním (postprocessing) – měřená data se registrují a potom se dodatečně zpracovávají (většinou mimo terén).
- Podle pohybu přijímače:
 - ✓ statické (static) – přijímač je v době měření v klidu,
 - ✓ kinematické (kinematic) – přijímač se během měření pohybuje.
- Podle počtu použitých přijímačů:
 - ✓ autonomní (absolutní) metoda – využívá jeden GPS přijímač,
 - ✓ diferenční a relativní metody – využívá se minimálně dvou GPS aparatur.

5.2.3 Kinematická metoda v reálném čase (RTK)

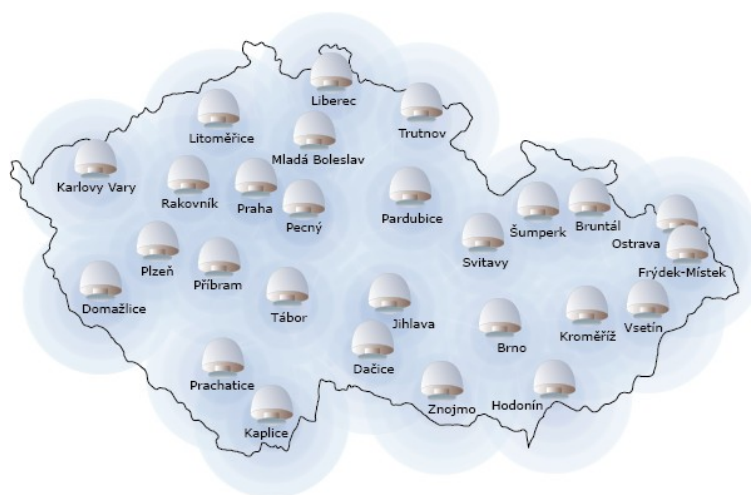
RTK je metodou relativní, které patří mezi nejpřesnější způsoby určení polohy bodu. K měření je zapotřebí minimálně dvou GPS aparatur. Jedna z aparatur, tzv. *referenční stanice*, se umísťuje na bod o známých geodetických souřadnicích. Její údaje jsou registrovány po dobu celého měření. Záznam dat bývá většinou prováděn bez přerušení, je ale možné zapínat sběr dat pouze v okamžicích, kdy je v provozu i druhá aparatura. K výpočtu korekcí dochází v reálném čase. Vypočtené korekce jsou vysílány z referenční stanice na pohyblivý přijímač pomocí modemu. Na větší vzdálenosti je také možné data přenášet mobilními telefony.

Výhodou je získání souřadnic v reálném čase. Jejich znalost v okamžiku měření umožňuje obsluze GPS kvalifikovaně volit další body pro tvorbu mapy podle konfigurace terénu. V současnosti je komerčně nabízena možnost přijímat korekce z tzv. virtuálních referenčních stanic (VRS), takže odpadá nutnost použití vlastní referenční stanice. Tím vzrůstá dosah až na 50 km. Metody RTK, resp. VRS, lze úspěšně využít pro budování podrobného bodového pole a zhušťovacích bodů, ale i pro zaměření bodů pro katastrální a jiné mapy.

5.2.4 Sít' permanentních stanic CZEPOS

Česká republika se vybudováním a zprovozněním České sítě permanentních stanic pro určování polohy CZEPOS zařadila mezi státy s moderními geodetickými základy [19]. CZEPOS poskytuje uživatelům GNSS korekční data pro přesné určení pozice na území České republiky, spravuje ho a provozuje Zeměměřický úřad jako součást geodetických základů České republiky.

Rozhodující část sítě tvoří v současné době 23 stanic vybudovaných na vhodně vybraných budovách pracovišť katastrálních úřadů. Tyto stanice jsou doplněny 4 externími stanicemi zřízenými na vědeckých pracovištích: Geodetická observatoř Pecný (GOPE), VUT v Brně (TUBO), VŠB v Ostravě (VSBO) a Zápa-dočeská univerzita v Plzni (PLZE). Rozmístění viz obrázek č. 14.



Obr. 14 Přehled instalovaných stanic sítě CZEPOS

Všechny služby sítě CZEPOS jsou poskytovány po internetu přes stránky <http://czepos.cuzk.cz>, kde uživatel nebo zájemce o využívání služeb sítě CZEPOS

nalezne veškeré základní informace o síti, informace o postupu prací a aktuálním stavu sítě, popis, fotografie a souřadnice všech stanic, přístup k aplikacím včetně stručných návodů a v neposlední řadě i odkazy na registraci jako uživatele sítě a možnost stáhnout instalační programy potřebné pro zdárnou internetovou komunikaci se serverem sítě CZEPOS po internetu [2].

V diplomové práci byla použita služba pro aplikaci v reálném čase (ty jsou poskytovány mobilním internetovým připojením GPRS přes síťový protokol NTRIP pro uživatele pracující jak s kódovým měřením, tak i pro uživatele pracující s fázovým měřením), konkrétně RTK, kdy uživatel pracující v přiměřené vzdálenosti od konkrétní stanice obdrží korekci RTCM ve formátu 2.3 ze zvolené konkrétní stanice. Každá stanice má opět vlastní přístupový bod označený názvem stanice a číslicí 0, v našem případě Frýdek - Místek: CFRM0.

Tato aplikace nevyžaduje korektní stav síťového řešení a uživateli nahrazuje jeho vlastní základnovou stanici umístěnou na bodě o známých souřadnicích v ETRS-89 [19].

5.2.5 Použité přístroje a pomůcky

- GPS systém LEICA 1200
- RTK Rover s batůžkem a přijímačem ATX 1230



Obr. 15 GPS systém LEICA 1200

Parametry GPS systému LEICA 1200

Ve spolupráci s institutem Geodézie a kartografie VŠB-TU Ostrava bylo možno si zapůjčit pro polohové zaměření bodů GPS systém LEICA 1200 s přijímačem ATX 1230 (obr. 15), jehož parametry jsou uvedeny v tabulce č. 5 [9].

Tab.č.5 Podrobné parametry GPS systému Leica 1200 s přijímačem ATX 1230

GNSS technologie	SmartTrack+	
Typ	Tří-frekvenční	
Kanály	120 kanálů	
	L1/L2/L5 GPS	
	L1/L2 GLONASS	
	E1/E5a/E5b/Alt-BOC GALILEO	
RTK	SmartCheck+	
Konektory	Napájení	
	Bluetooth	
Anténa	SmartTrack + ATX 1230	
SmartCheck+	<i>inicializace</i>	většinou 8 sekund
	<i>opoždění (Latency)</i>	<0,03 sekundy
	<i>dosah</i>	40 a více km při optimálních podmínkách
	<i>přesnost - kinematická</i>	<u>Horizontální:</u> 10 mm + 1 ppm
		<u>Vertikální:</u> 20 mm + 1 ppm
	<i>přesnost - statická</i>	<u>Horizontální:</u> 5 mm + 0,5 ppm
		<u>Vertikální:</u> 10 mm + 0,5 ppm
	<i>spolehlivost</i>	99,99% do 40 km
Post-Processing s Leica Geo Office	<u>Horizontální:</u> 10 mm + 1 ppm	
	<u>Vertikální:</u> 20 mm + 1 ppm	
	<u>Horizontální:</u> 5 mm + 0,5 ppm	
	<u>Vertikální:</u> 10 mm + 0,5 ppm	

6 Vyrovňovací počet

K vyloučení hrubých chyb a ke zvýšení přesnosti konečného výsledku měření opakujeme měření neznámé veličiny, které jsou s neznámými veličinami ve známém vzájemném vztahu. Vlivem měřických chyb dostáváme řadu měření s různými číselnými hodnotami pro tutéž veličinu nebo nesouhlasy v uvedených vztazích. [5]

Způsoby vyrovňání:

- a) vyrovňání měření přímých,
- b) vyrovňání měření zprostředkujících,
- c) vyrovňání měření podmínkových,
- d) složitější, kombinované způsoby.

6.1 Vyrovňání zprostředkujících měření

6.1.1 Formulace úlohy

Hledané neznámé podléhají naší volbě. Počet neznámých bude odpovídat počtu nutných měření a nebudou mezi nimi existovat funkční závislosti.

Pro provedené zprostředkující měření můžeme sestavit vztah typu:

$$L_i = l_i + \varepsilon_i \quad (6.1)$$

Z měření však ε_i a ani L_i nelze určit, proto hledáme aproximaci L_i . Tuto aproximaci nazveme vyrovnanou hodnotou, označíme ji \bar{l}_i a požadujeme, aby pro hodnoty $\bar{l}_i - l_i = v_i$ (6.2) platila podmínka $[p v v] = \min \Rightarrow \frac{\partial [p_i v_i]}{\partial x} = 0$. (6.3)

$$\bar{l}_i - l_i = v_i \quad (6.2) \quad \text{platila podmínka } [p v v] = \min \Rightarrow \frac{\partial [p_i v_i]}{\partial x} = 0. \quad (6.3)$$

Vztah (6.2) nazýváme *rovnici oprav* (maticově $v = \bar{l}(x^T) - l$).

6.1.2 Postup vyrovňání

a) Volba neznámých a sestavení funkčních vztahů:

Pro výpočet je nutné zavést dostatečně přibližné hodnoty neznámých

$$x_0, \text{ dále vyjádřit } x = x_0 + dx. \quad (6.4)$$

b) Sestavení rovnic oprav:

Pro získání jednoduchých rovnic k výpočtu hledaných neznámých je nutno znát lineární tvar rovnic oprav. Provedeme tedy tzv. linearizaci, rozvojem funkčního vztahu (6.2) v Taylorovu řadu s omezením na členy

$$\text{prvého řádu. Dostaneme matici: } A = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1k} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nk} \end{pmatrix} \quad (6.5)$$

$$\text{Rovnice oprav bude mít tento tvar: } v = A dx + l' \quad (6.6)$$

c) Sestavení normálních rovnic:

Předpokládáme, že každé měření bylo provedeno s různou přesností, proto každému měření a tedy i opravě přiřadíme různou váhu p_i . Normální rovnice budou mít v maticovém zápisu tento tvar:

$$A^T P A dx + A^T P l' = 0 \quad (6.7)$$

$$\text{Přičemž } A = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1k} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nk} \end{pmatrix}, A^T = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{n1} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ a_{1k} & \dots & a_{nk} \end{pmatrix}$$

$$P = \begin{pmatrix} p_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & p_n \end{pmatrix} \quad (21), \quad dx = \begin{pmatrix} dx_1 \\ \vdots \\ dx_k \end{pmatrix} \quad (21), \quad l' = \begin{pmatrix} l_1 \\ \vdots \\ l_n \end{pmatrix} \quad (6.8)$$

d) Řešení normálních rovnic:

Z normálních rovnic získáme hodnoty doplňků dx, dy, \dots , tudíž vyjádříme vektor dx .

$$dx = -N^{-1}n, \text{ kde } N = \begin{pmatrix} [pa_1a_1] & [pa_1a_2] & \dots & [pa_1a_k] \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ [pa_ka_1] & [pa_ka_2] & \dots & [pa_ka_k] \end{pmatrix},$$

$$n = \begin{pmatrix} [pa_1 l_1] \\ \vdots \\ [pa_1 l_n] \end{pmatrix} \quad (6.9)$$

Správnost výpočtu zkontrolujeme dosazením do normálních rovnic.

e) Výpočet oprav:

Pro výpočet oprav použijeme vztah (6.6). Správnost výpočtu oprav ověříme tímto vztahem: $A^T P v = 0$ (6.10)

Další kontrolu nám poskytují tzv. *sigmové zkoušky* podle, kterých má platit: $\Sigma_I = \Sigma_{III}$, kde $\Sigma_I = l^T P A dx + l^T P l'$ (6.11)

$$\Sigma_{III} = [p v v] \quad (6.12)$$

Sigmové zkoušky kontrolují:

1. výpočet koeficientů normálních rovnic,
2. výpočet neznámých dx ,
3. výpočet oprav a
4. správnost výpočtu výrazu $[p v v]$

f) Určení vyrovnaných hodnot:

$$x = x_0 + dx, \dots \quad (6.13)$$

g) Odhad jednotkové střední chyby:

$$m_0 = \sqrt{\frac{[p v v]}{n - k}} \quad (6.14)$$

h) Odhad středních chyb funkcí vyrovnaných veličin:

$$\overline{m}_f = \overline{m}_0 \sqrt{Q_{ff}}, \text{ kde } Q_{ff} = N^{-1} \quad (6.15)$$

i) Odhad středních chyb vyrovnaného měření:

$$\overline{m}_{l_i} = \overline{m}_0 \sqrt{Q_{l_i l_i}}, \text{ kde } Q_{l_i} = A N^{-1} A^T. \quad (6.16)$$

6.2 Vyrovnaní měření s daným součtem

Tento způsob se použije pro vyrovnaní měřených veličin, které jsou vázány daným součtem např. úhly v trojúhelníku, vložený nivelační pořad atd. Jedná se speciální případ vyrovnaní měření podmínkových pouze s jednou podmínkou v lineárním tvaru [6].

Pro tento způsob vyrovnaní sestavíme obecné rovnice:

podmínková rovnice $a_1 \bar{l}_1 + a_2 \bar{l}_2 + \dots + a_n \bar{l}_n - S = 0; [al] = S; \bar{l}_i = l_i + v_i$

uzávěr $a_1 l_1 + a_2 l_2 + \dots + a_n l_n - S = U$

přetvořená podmínková rovnice $a_1 v_1 + a_2 v_2 + \dots + a_n v_n + U = 0$

váhy naměřených veličin $p_1, p_2, \dots, p_n \quad q_i = \frac{1}{p_i}$

normální rovnice $[q]K + U = 0 \quad K = -\frac{U}{[q]}$

opravy $v_i = q_i a_i K = -\frac{a_i q_i}{[q]} U. \quad (6.17)$

Provedeme kontrolu výrazu $[pvv]: \quad [pvv] = -UK = \frac{U^2}{[q]} = m_0^2 \quad (6.18)$

Empirická hodnota (aposteriorní odhad) střední chyby měřené veličiny:

$$m_i = m_0 \sqrt{q_i} = \frac{|U|}{\sqrt{[q]}} \sqrt{q_i} = |U| \sqrt{\frac{q_i}{[q]}} \quad (6.19)$$

Odhad střední chyby vyrovnané veličiny:

$$m_{\bar{l}_i} = m_0 \sqrt{Q_{\bar{l}_i \bar{l}_i}} = m_i \sqrt{1 - \frac{q_i}{[q]}} = \frac{|U|}{[q]} \sqrt{q_i ([q] - q_i)}, \quad (6.20)$$

$$Q_{\bar{l}_i \bar{l}_i} = q_i - \frac{(q_i a_i)^2}{[qaa]} = q_i - \frac{q_i^2}{[q]} = \frac{q_i}{[q]} ([q] - q_i)$$

Střední chyba částečného součtu vyrovnaných hodnot:

$$m_s = m_0 \sqrt{Q_{SS}} = \frac{|U|}{[q]} \sqrt{S' S''}, \quad [qaf] = [q]_i^k = S', \quad [q] - S' = S'', \quad [q]_{k+1}^n = S'' \quad (6.21)$$

7 Vlastní měření

Před vlastním měřením bylo potřeba provést stabilizaci pozorovací stanice. Tato pozorovací stanice musela navazovat na již vytvořenou stanici, která se v tomto zájmovém území již nacházela. Výškové zaměření se provedlo metodou geometrické nivelace ze středu a polohové zaměření bodů pozorovací stanice metodou GPS-RTK.

7.1 Rekognoskace terénu a stabilizace pozorovací stanice

Před stabilizací pozorovací stanice bylo zapotřebí provést rekognoskaci terénu, abychom zjistili, jak jsou rozmístěny body již stabilizované stanice. Toto bylo důležité proto, abychom propojili stávající stanici s nově vytvořenou. Po rekognoskaci jsme již mohli provést stabilizaci nových bodů pozorovací stanice. Stabilizace nových bodů se provedla ocelovými hřeby do asfaltového povrchu cesty (obr. 16). Celkem bylo nově stabilizováno 31 bodů, které byly označeny písmenem S a pořadovým číslem bodu.

Body byly stabilizovány tak, aby vzdálenost mezi jednotlivými body nepřekročila 120 m, což je důležitou podmínkou pro technickou nivelaci, kdy délka záměry nemá překročit 60 m. Přehledná situace všech bodů je znázorněna v příloze č. 6.1. Modře jsou vyznačeny převzaté hodnoty bodů, a červeně jsou vyznačeny body, jejichž výšky byly určeny vlastním měřením.

Společnými body stávající a nové stanice byly zvoleny tyto body: P1, P2, P3, P16, L1, L2, L3, L4, L22, 326 a 33.



Obr. 16 Stabilizace a signalizace bodů pozorovací stanice

7.2 Výškové měření

Pro nivelační měření byla použita technická nivelace se zvýšenou přesností. Výškový systém byl užit baltský - po vyrovnání (Bpv), který je závazným geodetickým referenčním systémem na území našeho státu.

Výškové měření bodů pozorovací stanice proběhlo ve 3 etapách:

- **1.etapa** - 9.10.2009
- **2.etapa** - 12.12.2009
- **3.etapa** - 20.3.2010

Výchozím bodem byl bod č. 33, jehož výška byla určena připojovacím měřením bodu ČSNS 3. řádu Ge1-8.2. K jeho ověření posloužil další bod ČSNS 3. řádu, a to Ge1-9, ležící v katastrálním území Albrechtice u Českého Těšína. Připojovací a ověřovací měření proběhlo 5.11.2009.



Obr. 17 Stabilizace nivelačního bodu Ge1-9



Obr. 18 Stabilizace nivelačního bodu Ge1-8.2

Hodnota získaná z tohoto měření spolu s dalšími hodnotami ze známých připojovacích a ověřovacích měření stejnou metodou a vybavením byly použity pro následnou interpolaci a extrapolaci výšky bodu č. 33.

Nivelační údaje uvedených bodů jsou v příloze č. 3.



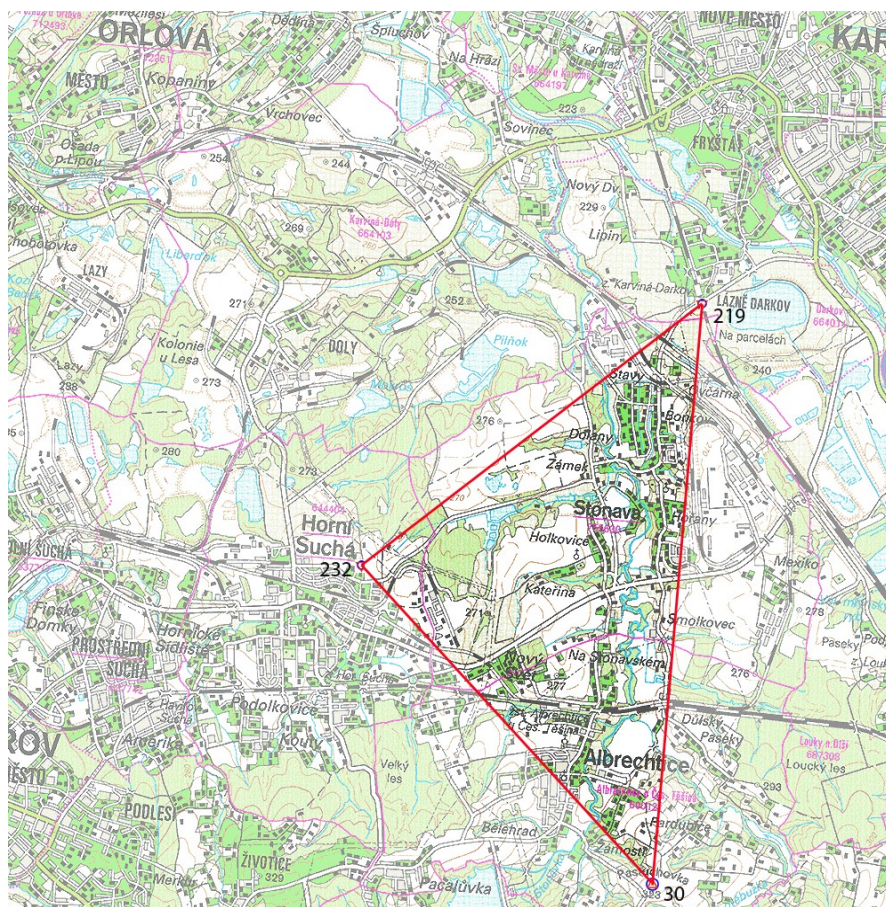
Obr. 19 Trasa přípojovacího a ověřovacího měření [3]

7.3 Polohové měření

Před samotným měřením bylo nutné sestavit transformační klíč pro danou lokalitu. Pro transformační klíč je nutné použít body, které mají dvojí souřadnice a to v systému S-JTSK a ETRS-89. Také musí být body zvoleny tak, aby se zájmové území nacházelo uvnitř oblasti tvořené spojnici trigonometrických bodů.

- Typ transformace: Klasická-3D (3D-Helmertova transformace)
- Transformační model: Bursa-Wolf
- Počet známých bodů: 3
 - ✓ 000936010300
 - ✓ 000936012190
 - ✓ 000936012320

Detaily transformace naleznete v příloze č. 1 (nosič dat CD), konkrétně v protokolu o měření GPS. Geodetické údaje použitých bodů jsou v příloze č. 4.



Obr. 20 Transformační klíč (body 30, 219 a 232)

Poloha bodů byla určena metodou RTK 26.11.2009 v souřadnicovém systému S-JTSK. Pro tuto metodu je nutné přijímat korekce z permanentních stanic služby CZEPOS. Pro naše měření byly opravy přijímány z permanentní stanice umístěné ve Frýdku - Místku. Ve výstupním protokolu jsou na jednotlivých bodech určeny tyto parametry:

- místní souřadnice
- doba trvání měření
- kvalita
- základnový vektor
- DOPy.

Výstupní protokol je se všemi vyjmenovanými parametry k nahlédnutí v příloze č. 1 (nosič dat CD). Doba observací se pohybovala od 5'' do 12''.

8 Vyhodnocení výsledků měření

Před výpočtem poklesů bodů byl proveden rozbor přesnosti, tomu následovalo vyrovnaní výškové sítě. Po vyrovnaní všech nově určených bodů byla určena plná účinná plocha pro porub č. 300402.

8.1 Určení přesnosti výškového měření

8.1.1 Ověření totožnosti, neměnnosti výchozího bodu Ge1-8.2 pro připojovací měření

- Ověření pomocí mezní odchylky mezi naměřeným převýšením tam a zpět pro oddíl nivelačních sítí IV. řádu podle [21] vztahu $5 \cdot \sqrt{R}$

Tab.č.6 Ověření pomocí mezní odchylky mezi naměř.převýšením tam a zpět (Ge1-9 – Ge1-8.2)

	nivelační body		délka oddílu R	Převýšení		Rozdíl	Mezní odchylka
				TAM	ZPĚT		
			[km]	[m]	[m]	[mm]	[mm]
nivelační oddíl	Ge1-9	Ge1-8.2	0,154	5,5383	-5,5386	0,3	2,0

Dosažená odchylka $\Delta = 0,3 \text{ mm} < 2,0 \text{ mm} \Rightarrow$ splněno.

- Ověření pomocí mezní odchylky mezi daným a nově naměřeným převýšením pro oddíl nivelačních sítí IV. řádu podle [21] vztahu $2 + 5 \cdot \sqrt{R}$

Tab.č.7 Ověření pomocí mezní odchylky mezi daným a nově naměřeným převýšením

	nivelační body		délka oddílu R	Převýšení		Rozdíl	Mezní odchylka
				naměřené	dané		
			[km]	[m]	[m]	[mm]	[mm]
nivelační oddíl	Ge1-9	Ge1-8.2	0,154	5,5385	5,541	2,5	4,0

Dosažená odchylka $\Delta = 2,5 \text{ mm} < 4,0 \text{ mm} \Rightarrow$ splněno.

Zápisník měření je uveden v příloze č. 2.

8.1.2 Rozbor přesnosti připojovacího měření

- Z již ověřeného bodu Ge1-8.2 byla výška bodu č. 33 určena přesnou nivelací

Tab.č.8 Vyrovnané výšky v pořadu Ge1-8.2 - 33

Č.b.	Tam	Zpět	Průměr	Vyrovnané výšky
				[m]
1-8.2	[m]	[m]	[m]	258,2020
502	7,0687	-7,0691	7,0689	265,2709
	-7,3121	7,3099	-7,3110	257,9599
503	-9,8686	9,8699	-9,8693	248,0906
	-1,1008	1,0984	-1,0996	246,9910
33				

- Ověření připojovacího měření pomocí mezní odchylky mezi naměřeným převýšením tam a zpět pro úsek nivelačních sítí IV. řádu podle vztahu $5 \cdot \sqrt[3]{R^2}$

Tab.č.9 Ověření pomocí mezní odchylky mezi daným a nově naměř.převýšením (Ge1-8.2 - 33)

	nivelační body		délka oddílu R	Převýšení		Rozdíl	Mezní odchylka
				TAM	ZPĚT		
				[m]	[m]		
nivelační oddíl	Ge1-8.2	33	1,497	-11,2129	11,2091	3,8	6,5

Dosažená odchylka $\Delta = 3,8 \text{ mm} < 6,5 \text{ mm} \Rightarrow$ splněno.

Zápisník měření je uveden v příloze č. 2.

- Určení přesnosti připojovacího nivelačního pořadu
 - ✓ střední kilometrová chyba m_0
 - ✓ střední kilometrová chyba aritmetického průměru libovolné dvojice měření m_{0x}
 - ✓ střední chyba m_s aritmetického průměru celé trati o délce s

Tab.č.10 Určení přesnosti připojovacího nivelačního pořadu (Ge1-8.2 - 33)

měřené převýšení v oddílu mezi body	Tam	zpět	délka oddílu	x	p=1/s	d	dd	d+1	d+1) ²	pdd	dd/s
	I'	I''	s								
	M	m	km			mm	mm ²	mm	mm ²	mm ²	mm ²
Ge1-8.2 - 502	7,0687	-7,0691	0,31	7,06890	3,23	-0,4	0,16	0,6	0,36	0,51613	0,51613
502 - 503	-7,3121	7,3099	0,49	-7,31100	2,04	-2,2	4,84	-1,2	1,44	9,87755	9,87755
503 - 504	-9,8686	9,8699	0,26	-9,86925	3,85	1,3	1,69	2,3	5,29	6,50000	6,50000
504 - 33	-1,1008	1,0984	0,43	-1,09960	2,33	-2,4	5,76	-1,4	1,96	13,39535	13,39535
Σ	-11,2128	11,2091	1,49	-11,21095		-3,7	12,45		9,05	30,28903	30,28903

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{1}{2n} \left[\frac{dd}{s} \right]} = \underline{\underline{1,95mm}}$$

$$m_{0X} = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{n} \left[\frac{dd}{s} \right]} = \underline{\underline{1,38mm}}$$

$$m_s = m_{0X} \cdot \sqrt{s} = \underline{\underline{1,68mm}}$$

Mezní střední kilometrová chyba pro přesnou nivelaci 4. řádu byla určena

podle vztahu $1,00 + \frac{1,77}{\sqrt{n_R}} = \underline{\underline{1,89mm}}$.

$$m_{0X} < \text{mezní} \Rightarrow 1,38 \text{ mm} < 1,89 \text{ mm} \Rightarrow \underline{\underline{\text{splněno.}}}$$

Po určení přesnosti můžeme prohlásit, že převýšení mezi připojovacím bodem Ge1-8.2 a nově výškově určeným bodem 33 je **11,2110 m ± 1,95 mm**.

8.1.3 Určení projektované přesnosti výšek na pozorovací stanici

Tab.č.11 Parametry pořadů

Pořad	Délka [km]	Metoda	Mezní kilometrové chyby dvojité nivelace [mm]
Připojovací pořad	1,49	Přesná nivelace, IV.řád	$1,00 + \frac{1,77}{\sqrt{n_R}}$
Pořad měřený na pozorovací stanici	2,39	Technická nivelace	10

Přesnost výšky bodu na stanici m_{H_B} je dána [17] z:

- přesnosti výšky výchozího bodu $m_{H_{VB}}$
 - ✓ Jako výchozí nivelační bod byl použit bod základního výškového bodového pole (ZVBP), jejich výška je vždy určena s přesností $\pm 2\text{mm}$.
- přesnosti připojovacího pořadu $m_{H_{PP}}$
 - ✓ Přesnost výšky vztažného bodu na pozorovací stanici je dána délkou připojovacího nivelačního pořadu a přesností nivelační metody podle $m_{H_{PP}} = m_0 \sqrt{R}$, kde m_0 je střední kilometrová chyba a R délka oboustranně měřeného připojovacího pořadu
- přesnosti vlastního měření na pozorovací stanici $m_{H_{PS}}$

$$m_{H_B}^2 = m_{H_{VB}}^2 + m_{H_{PP}}^2 + m_{H_{PS}}^2,$$

Po dosazení do vzorce dostáváme hodnotu celkové střední chyby měření výšek na stanici, která činí **$\pm 15,8 \text{ mm}$** .

8.1.4 Ověření přesnosti měření nivelačních pořadů na stanici

Jednotlivé pořady na stanici (P16-S22, S22-S31, S31-326 a 326-33) byly ověřeny pomocí mezní odchylky mezi naměřeným převýšením tam a zpět pro volné pořady technické nivelace zvýšené přesnosti podle [4] vztahu $0,67 \cdot 20\sqrt{R}$.

Výsledky ověření jsou v tabulkách č.12 – 15, kritérium přesnosti bylo dodrženo ve všech případech. Zápisníky všech etap měření jsou uvedeny v příloze č. 2.

Tab.č.12 Porovnání mezní odchylky nivelačního oddílu P16 - S22

Etapa	Datum	nivelační body		délka oddílu R	Převýšení		Rozdíl d	Mezní odchylka Δ_{max}	$d < \Delta_{max}$
					TAM	ZPĚT			
				[km]	[m]	[m]	[mm]	[mm]	[mm]
1	09.10.2009	P16	S22	0,51	-2,7858	2,7884	2,6	9,6	ANO
2	12.12.2009			0,51	-2,7879	2,7863	-1,6	9,6	ANO
3	20.03.2010			0,51	-2,7887	2,7887	0,0	9,6	ANO

Tab.č.13 Porovnání mezní odchylky nivelačního oddílu S22 - S31

Etap	Datum	nivelační body		délka oddílu R	Převýšení		Rozdíl d	Mezní odchylka Δ_{max}	$d < \Delta_{max}$
					TAM	ZPĚT			
					[m]	[m]			
1	09.10.2009	S22	S31	0,43	5,1314	-5,1283	3,1	8,8	ANO
2	12.12.2009			0,43	5,1268	-5,1295	-2,7	8,8	ANO
3	20.03.2010			0,43	5,1274	-5,1251	2,3	8,8	ANO

Tab.č.14 Porovnání mezní odchylky nivelačního oddílu S31 - 326

Etap	Datum	nivelační body		délka oddílu R	Převýšení		Rozdíl d	Mezní odchylka Δ_{max}	$d < \Delta_{max}$
					TAM	ZPĚT			
					[m]	[m]			
1	09.10.2009	S31	326	0,67	7,2196	-7,2219	-2,3	11,0	ANO
2	12.12.2009			0,67	7,2080	-7,2133	-5,3	11,0	ANO
3	20.03.2010			0,67	7,2061	-7,2078	-1,7	11,0	ANO

Tab.č.15 Porovnání mezní odchylky nivelačního oddílu 326 - 33

Etap	Datum	nivelační body		délka oddílu R	Převýšení		Rozdíl d	Mezní odchylka Δ_{max}	$d < \Delta_{max}$
					TAM	ZPĚT			
					[m]	[m]			
1	09.10.2009	326	33	0,68	-1,9168	1,9190	2,2	11,0	ANO
2	12.12.2009			0,68	-1,9084	1,9053	-3,1	11,0	ANO
3	20.03.2010			0,68	-1,9000	1,9000	0,0	11,0	ANO

Dále byl pro všechny tři etapy měření vypočten rozdíl měření tam a zpět Δ_h pro celý nivelační úsek. Tento rozdíl byl porovnán s mezní odchylkou převýšení pro celý úsek Δ_{max} , i v tomto případě byla podmínka ve všech etapách splněna.

Tab.č.16 Porovnání mezní odchylky nivelačního úseku P16 - 33

Etap	Datum	nivelační body		délka oddílu R	Převýšení		Rozdíl d	Mezní odchylka Δ_{max}	$d < \Delta_{max}$
					TAM	ZPĚT			
					[m]	[m]			
1	09.10.2009	P16	33	2,29	7,6483	-7,6428	5,5	20,3	ANO
2	12.12.2009			2,29	7,6385	-7,6512	-12,7	20,3	ANO
3	20.03.2010			2,29	7,6448	-7,6442	0,6	20,3	ANO

Pro všechny výpočty byl použit program MS Excel 2007.

8.2 Interpolace a extrapolace výšky bodu č. 33

Jelikož připojovací měření bodu č. 33 proběhlo 23.4.2009 (převzaté měření) a 5.11.2009, bylo za potřebí pro jednotlivé změřené etapy, které proběhly 9.10.2009, 12.12.2009 a 20.3.2010, provést interpolaci, extrapolaci bodu č. 33.

Tab.č.17 Interpolace a extrapolace výšek bodu č. 33

Datum	Připojená výška	Interpolace	Extrapolace
	[m]	[m]	[m]
23.4.2009	247,007		
9.10.2009		246,993	
5.11.2009	246,991		
12.12.2009			246,988
20.3.2010			246,980



Obr. 21 Stabilizace výchozího bodu č. 33

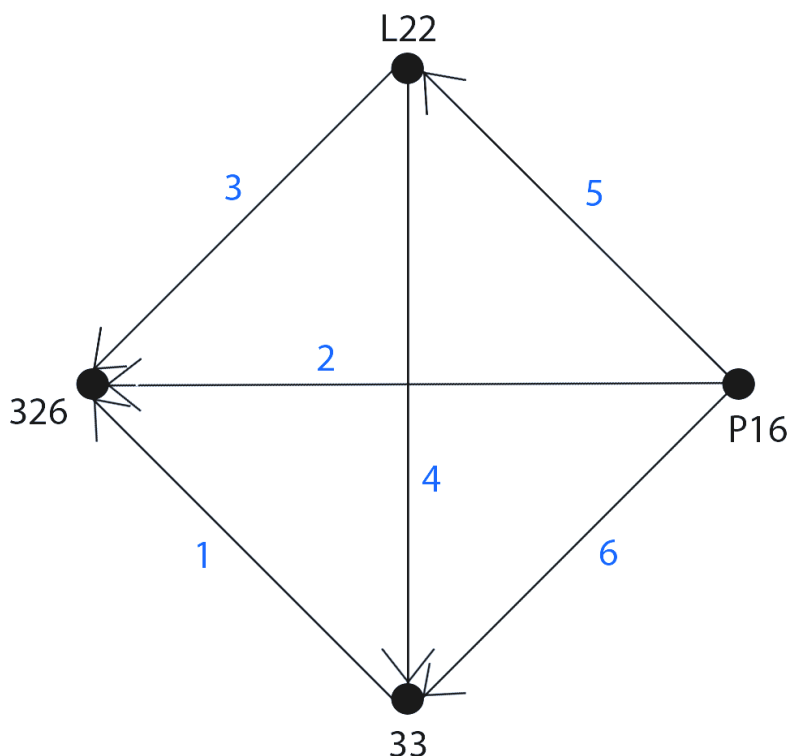
8.3 Vyrovnávací počet

Pro vyrovnání výšek bodů bylo využito vyrovnání měření zprostředkujících a vyrovnání s daným součtem.

8.3.1 Vyrovnání měření zprostředkujících

Jak už bylo řečeno dříve, nová stanice navazovala na již stávající pozorovací stanici. Téměř současně tedy probíhaly dvě měření po jiných tratích. Tím, že tato měření vycházely za stejných bodů, vznikly zde nadbytečná měření, a proto lze provést vyrovnání sítě. Nivelační síť obsahovala 4 výškové body, z nichž jeden byl pevný (bod č. 33) a tři vyrovnávané (body č. P16, L22, 326). Na obr. 22 je

schéma těchto všech bodů, šipky v jednotlivých tratích naznačují směr stoupání terénu.



Obr. 22 Schéma vyrovnávaných bodů

Veškeré výpočty a výsledky vyrovnání ve všech 3 etapách jsou uvedeny v příloze č. 5. Pro výpočty byly použity programy MS Excel 2007 a Matlab 7.1.

8.3.2 Vyrovnání s daným součtem

Body, které se nacházejí mezi vyrovnanými body (P16, L22 a 326) a pevným bodem (č. 33) byly vyrovnány metodou s daným součtem. Pro vyrovnání byl nivelační pořad rozdělen na 3 úseky (P16 – L22, L22 – 326 a 326 – 33). Veškeré výpočty byly provedeny v MS Excel 2007 a jsou uvedeny v příloze č. 5.

8.4 Výpočet poklesů bodů

Po vyrovnání byly vypočteny poklesy bodů. Výpočet poklesů bodů je proveden v programu MS Excel 2007. Tučně jsou označeny body, které byly získány vlastním měřením a slabě body, které byly převzaté.

Bc. Sandra Průchová: Zaměření a zpracování měřických pozorování pro hodnocení
porušování pevného nadloží v oblasti Stonava

Tab.č.18 Výpočet poklesů bodů

č.b.	Y	X	Z - 1.etapa	Z - 2.etapa	Z - 3.etapa	1.-2.etapa	1.-3.etapa
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[mm]	[mm]
S1	453 193,64	1 106 262,42	242,7029	242,6978	242,6834	-5,1	-19,4
S2	453 259,06	1 106 253,72	244,3275	244,3225	244,3109	-5,0	-16,6
S3	453 252,83	1 106 207,13	245,2274	245,2139	245,1981	-13,6	-29,3
S4	453 254,34	1 106 158,96	246,6314	246,6022	246,5776	-29,2	-53,8
S5	453 262,69	1 106 111,32	246,7125	246,6746	246,6479	-37,9	-64,6
S6	453 288,13	1 106 028,61	247,1387	247,1106	247,0901	-28,1	-48,6
S7	453 385,88	1 105 849,50	247,1678	247,1649	247,1547	-2,8	-13,1
S8	453 409,95	1 105 797,33	247,4606	247,4588	247,4514	-1,8	-9,2
S9	453 430,49	1 105 738,99	248,0621	248,0590	248,0497	-3,1	-12,4
S10	453 447,19	1 105 664,17	248,9209	248,9158	248,9062	-5,1	-14,7
S11	453 452,06	1 105 593,03	247,2934	247,2890	247,2776	-4,4	-15,8
S12	453 402,29	1 105 558,88	243,4893	243,4861	243,4738	-3,2	-15,5
S13	453 336,69	1 105 536,22	241,0455	241,0408	241,0291	-4,7	-16,4
S14	453 293,76	1 105 472,56	241,8646	241,8582	241,8438	-6,4	-20,8
S15	453 313,50	1 105 428,44	241,9169	241,9095	241,8919	-7,3	-25,0
S16	453 333,75	1 105 382,71	242,0489	242,0407	242,0262	-8,2	-22,7
S17	453 315,04	1 105 371,96	240,0341	240,0257	240,0101	-8,4	-24,0
S18	453 261,00	1 105 336,33	237,8873	237,8834	237,8698	-3,9	-17,5
S19	453 218,95	1 105 311,07	237,7140	237,7090	237,6952	-5,0	-18,8
S20	453 184,04	1 105 296,36	237,0009	236,9962	236,9831	-4,7	-17,7
S21	453 125,44	1 105 321,66	236,4619	236,4565	236,4450	-5,4	-16,8
S22	453 068,75	1 105 355,31	236,5607	236,5557	236,5432	-5,0	-17,5
S23	453 021,33	1 105 388,88	236,8029	236,7984	236,7883	-4,5	-14,6
S24	452 974,60	1 105 434,33	237,5070	237,5023	237,4918	-4,7	-15,2
S25	452 939,59	1 105 479,81	237,8374	237,8326	237,8221	-4,9	-15,4
S26	452 904,76	1 105 525,64	238,4162	238,4107	238,4005	-5,5	-15,7
S27	452 871,81	1 105 583,19	238,8486	238,8431	238,8328	-5,4	-15,8
S28	452 874,90	1 105 639,46	238,9579	238,9521	238,9421	-5,9	-15,8
S29	452 900,21	1 105 698,65	238,9388	238,9321	238,9212	-6,7	-17,6
S30	452 922,29	1 105 746,85	239,3515	239,3451	239,3333	-6,5	-18,2
S31	453 283,05	1 105 496,66	241,6898	241,6841	241,6701	-5,7	-19,7
L1	453 160,48	1 106 412,44	244,2290	244,2272	244,2165	-1,9	-12,5
L2	453 156,10	1 106 375,70	243,7750	243,7725	243,7621	-2,5	-12,8
L3	453 147,71	1 106 331,97	243,4781	243,4740	243,4616	-4,2	-16,5
L4	453 142,39	1 106 275,10	242,9913	242,9866	242,9746	-4,8	-16,8
L5	453 139,89	1 106 251,17	242,8009	242,7920	242,7792	-8,9	-21,7
L6	453 137,43	1 106 201,90	242,2613	242,2439	242,2261	-17,4	-35,2
L7	453 136,20	1 106 170,31	241,8236	241,7917	241,7659	-31,9	-57,7
L8	453 136,38	1 106 128,46	240,9122	240,8547	240,8143	-57,5	-97,9
L9	453 136,63	1 106 094,06	240,1788	240,1009	240,0497	-77,9	-129,1
L10	453 139,21	1 106 046,47	239,3981	239,3025	239,2429	-95,6	-155,2
L11	453 143,24	1 105 995,13	239,1027	poškozen	poškozen		
L12	453 149,38	1 105 944,41	239,4545	poškozen	poškozen		
L13	453 154,01	1 105 910,05	239,9948	239,9278	239,8799	-67,0	-114,9
L14	453 163,04	1 105 861,29	240,7976	240,7609	240,7298	-36,7	-67,8
L15	453 171,55	1 105 820,75	241,1122	241,0935	241,0736	-18,7	-38,6
L16	453 186,65	1 105 759,53	241,2509	241,2421	241,2279	-8,7	-22,9
L17	453 194,99	1 105 729,40	241,3080	241,2995	241,2851	-8,5	-22,9
L18	453 206,34	1 105 692,80	241,3007	241,2927	241,2790	-8,0	-21,7
L19	453 219,93	1 105 654,18	241,5101	241,5020	241,4876	-8,1	-22,5
L20	453 237,03	1 105 607,15	241,9513	241,9438	241,9301	-7,5	-21,2
L21	453 257,45	1 105 554,61	241,5795	241,5712	241,5577	-8,3	-21,8
L22	453 271,74	1 105 522,14	241,5692	241,5594	241,5456	-9,8	-23,5
P1	453 308,39	1 105 990,42	247,4474	247,4270	247,4105	-20,4	-36,9
P2	453 334,36	1 105 941,43	247,4151	247,4052	247,3938	-9,9	-21,3
P3	453 360,80	1 105 895,91	247,2099	247,2029	247,1977	-6,9	-12,1
P4	453 328,62	1 105 881,71	245,0956	245,0902	245,0799	-5,4	-15,7
P5	453 284,91	1 105 863,83	243,1072	243,1003	243,0890	-6,8	-18,1
P6	453 251,86	1 105 853,34	242,1360	242,1251	242,1131	-10,9	-22,9
P7	453 221,69	1 105 844,04	241,1990	241,1854	241,1696	-13,6	-29,3
P8	453 191,14	1 105 834,06	240,4374	240,4204	240,4021	-17,0	-35,3
P9	453 153,32	1 105 819,91	240,2364	240,2186	240,1986	-17,8	-37,8
P10	453 124,07	1 105 809,45	239,8033	239,7877	239,7691	-15,5	-34,1
P11	453 092,25	1 105 797,73	239,4109	239,4012	239,3846	-9,7	-26,3
P12	453 060,28	1 105 787,95	239,6741	239,6628	239,6591	-11,3	-15,0
P13	453 026,08	1 105 782,20	239,6548	239,6455	239,6396	-9,2	-15,1
P14	452 995,01	1 105 776,30	239,0037	238,9970	238,9870	-6,7	-16,7
P15	452 963,09	1 105 772,06	239,1213	239,1152	239,1029	-6,1	-18,4
P16	452 938,49	1 105 769,13	239,3487	239,3426	239,3311	-6,1	-17,5
P17	452 909,63	1 105 773,54	239,0966	239,0959	239,0816	-0,7	-15,0
326	453 326,61	1 106 027,22	248,9102	248,8949	248,8787	-15,3	-31,5
33	453 234,74	1 106 435,06	246,9932	246,9881	246,9802	-5,1	-13,0

8.5 Polohové souřadnice bodů pozorovací stanice

Body byly určeny metodou RTK. Protokol získaný pomocí programu Leica Geo Office 6.0 je uveden v příloze č. 1 (nosič dat CD). Bod s označením CFRM-Ref je vlastně permanentní stanice, ze které byly přijímány korekce a která byla umístěná ve Frýdku - Místku.

Tab.č.19 Souřadnice bodů na pozorovací stanici

Bod	Y	X	Z	Stř. odchylka
	[m]	[m]	[m]	[m]
CFRM-Ref	466 960,10	1 118 703,40	330,55	0,00
S1	453 193,64	1 106 262,42	242,69	0,04
S2	453 259,06	1 106 253,72	244,33	0,04
S3	453 252,83	1 106 207,13	245,26	0,03
S4	453 254,34	1 106 158,96	246,65	0,04
S5	453 262,69	1 106 111,32	246,71	0,04
S6	453 288,13	1 106 028,61	247,12	0,04
S7	453 385,88	1 105 849,50	247,18	0,04
S8	453 409,95	1 105 797,33	247,46	0,04
S9	453 430,49	1 105 738,99	248,07	0,04
S10	453 447,19	1 105 664,17	248,91	0,04
S11	453 452,06	1 105 593,03	247,32	0,05
S12	453 402,29	1 105 558,88	243,51	0,04
S13	453 336,69	1 105 536,22	241,07	0,03
S14	453 293,76	1 105 472,56	241,88	0,03
S15	453 313,50	1 105 428,44	241,92	0,03
S16	453 333,75	1 105 382,71	242,09	0,04
S17	453 315,04	1 105 371,96	240,07	0,04
S18	453 261,00	1 105 336,33	239,02	0,04
S19	453 218,95	1 105 311,07	237,73	0,05
S20	453 184,04	1 105 296,36	236,98	0,04
S21	453 125,44	1 105 321,66	236,50	0,03
S22	453 068,75	1 105 355,31	236,58	0,05
S23	453 021,33	1 105 388,88	236,82	0,04
S24	452 974,60	1 105 434,33	237,53	0,04
S25	452 939,59	1 105 479,81	237,89	0,03
S26	452 904,76	1 105 525,64	238,46	0,04
S27	452 871,81	1 105 583,19	238,87	0,04
S28	452 874,90	1 105 639,46	239,00	0,03
S29	452 900,21	1 105 698,65	238,99	0,03
S30	452 922,29	1 105 746,85	239,39	0,03
S31	453 283,05	1 105 496,66	241,70	0,04
L1	453 160,48	1 106 412,44	244,24	0,01
L2	453 156,10	1 106 375,70	243,80	0,04
L3	453 147,71	1 106 331,97	243,49	0,04
L4	453 142,39	1 106 275,10	243,02	0,04
L22	453 271,74	1 105 522,14	241,57	0,04
P1	453 308,39	1 105 990,42	247,46	0,04
P2	453 334,36	1 105 941,43	247,42	0,04
P3	453 360,80	1 105 895,91	247,26	0,05
P16	452 938,49	1 105 769,13	239,37	0,01

8.6 Oblast plné účinné plochy pro porub č. 300402

Parametry porubu:

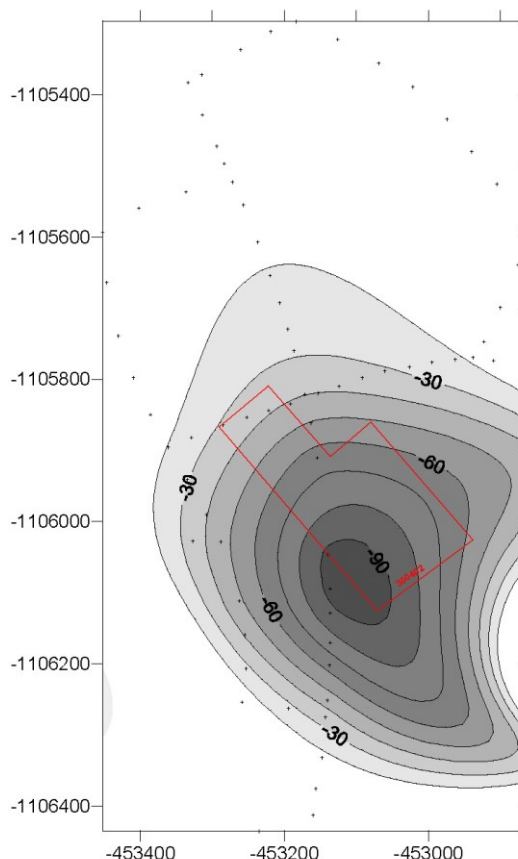
- Výška porubu: 240 m
- Výška karbonu: - 370 m
- Výška sloje: - 549 m
- Mezný úhel vlivu pro pokryv: 55°
- Mezný úhel vlivu pro karbon: 65°
- Průměrný mezný úhel vlivu: $\mu_p = \frac{\mu_t H_t + \mu_k H_k}{H_t + H_k} = \underline{\underline{56,9^\circ}}$
- Poloměr plné účinné plochy: $r = H \cdot \cot g \mu_p = \underline{\underline{513,6m}}$

Oblast plné účinné plochy vymezuje pro porub č. 300402 v bodě na povrchu L10 kružnice o poloměru 513,6 m. Bod L10 se nachází přibližně nad těžištěm porubu č. 3004002 sloje č. 30. Oblast plné účinné plochy je znázorněna v příloze č. 6.

9 Grafické zpracování získaných výsledků

Grafickými výstupy jsou podélné profily poklesů bodů, kde je dobře vidět, že k největším poklesům dochází v okolí bodu L10. Grafy poklesů byly zpracovány v programu Microstation V8 2004 a jsou v příloze č. 7. První podélný profil začíná na bodu č. 33 a končí na bodu S16 a druhý podélný profil začíná na bodu P17 a končí na bodu 326.

Dalším grafickým výstupem je znázornění izolonií o stejném poklesu (izokatabázy). Protože se jednalo o nepravidelné profily, byl ještě vytvořen prostorový model výsledných poklesů. Izokatabázy a prostorové modely poklesů jsou uvedeny v příloze č. 8. Oba grafické výstupy byly vytvořeny v programu Golden Software Surfer 8. Jako vstupní data pro výpočet posloužily polohové souřadnice bodů čtvercové sítě povrchu a hodnoty jejich předpokládaných poklesů. Tento program používá kartézský souřadnicový systém, proto se musely souřadnice bodů z S-JTSK do něj transformovat.



Obr. 23 Izokatabázy (mm) z naměřených poklesů – 2. etapa

10 Závěr

Cílem diplomové práce bylo vytvoření prostorového modelu části utvářené poklesové kotliny ve 4. kře Dolu ČSM.

Pro naplnění cíle diplomové práce bylo nutné nově stabilizovat body pozorovací stanice tak, aby navazovaly na body stávajících měřických přímek. Povrchové body pozorovací stanice byly výškově měřeny ve třech etapách v daných termínech 9.10.2009, 12.12.2009 a 20.3.2009 za použití metody technické nivelace. Na pozorovací stanici proběhlo i polohové zaměření metodou RTK, které sloužilo jako podklad grafického zpracování.

Z rozborů charakteristik přesnosti výškových měření vyplývá, že byla splněna všechna kritéria přesnosti. Zaměřená data byla vyhodnocena a výšková síť vyrovnána (vyrovnání měření zprostředkujících a měření s daným součtem). Grafickým výstupem zpracované diplomové práce jsou podélné profily pozorovací stanice a prostorový model části poklesové kotliny.

U jednotlivých sledovaných bodů pozorovací stanice byla velikost účinků hlubinného dobývání na povrch různá. Největší hodnota poklesu pozorovaných bodů v době mezi 1. a 3. etapou měření byla zjištěna v bodě č. **L10** a to -155,2 mm. Naopak nejmenší pokles byl zjištěn u bodu č. **S8**, jehož pokles činí -9,2 mm.

Vzhledem k výše uvedeným faktům resp. získaným hodnotám svislého pohybu je zřejmé, že v oblasti stále dochází k pohybům zemského povrchu. Z hlediska sledování dalšího vývoje a utváření poklesové kotliny je vhodné s měřením a pozorováním bodů periodicky pokračovat.

11 Použitá literatura

- [1] BLAŽEK R., SKOŘEPA Z.: Geodézie 3, ČVUT, Praha 2004
- [2] Česká síť permanentních stanic pro určování polohy [online].
Dostupné na www: <<http://czepos.cuzk.cz>>
- [3] GOOGLE MAPS [online].
Dostupné na www: < <http://maps.google.com>>
- [4] ČUGK: Směrnice technické nivelace, ČUGK, Praha 1971
- [5] HAMPACHER M., RADOUCH V.: Teorie chyb a vyrovnávací počet 10, ČVUT, Praha 2003
- [6] HAMPACHER M., RADOUCH V.: Teorie chyb a vyrovnávací počet 2, ČVUT, Praha 2004
- [7] HÁNEK P.: Úvod do globálních navigačních systémů, JČU, 2004 [online].
Dostupné na www: <http://home.zf.jcu.cz/public/departments/kpu/vyuka/geod_hanek/gps.doc>
- [8] JIRÁNKOVÁ E.: Vyhodnocování periodických měření na pozorovací stanici Holkovice, VŠB-TUO, Ostrava
- [9] LEICA GEOSYSTEMS [online].
Dostupné na www: <<http://www.leica-geosystems.com>>.
- [10] MIKULENKA V.: Nauka o důlních škodách I. a II., VŠB-TUO, Ostrava 2008
- [11] NESET K.: Vlivy poddolování, SNTL Praha 1984
- [12] NOVÁK, J.: Mezný úhel vlivu dobývání v poklesové kotlině. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2000.
- [13] OKD – Důl ČSM [online].
Dostupné na www: <<http://www.okd.cz/cz/o-nas/kde-pusobi-okd/dul-csm/>>
- [14] PRAMACOM – optics&communication [online].
Dostupné na www: <<http://www.infrared.cz/Technologie/GPS>>
- [15] RAPANT P.: Družicové polohové systémy, VŠB-TUO, Ostrava 2002
- [16] SCHENK J.: Globální polohové systémy v geodézii, VŠB-TUO, Ostrava 2003
- [17] SCHENK J.: Měření pohybů a deformací v poklesové kotlině, VŠB-TUO, Ostrava 1999
- [18] SCHENK J.: Speciální geodézie – učební text pro předmět Speciální geodézie, VŠB-TUO, Ostrava 2002
- [19] TARABA P.: Česká síť permanentních stanic pro určování polohy Czepos – progresivní využití možností GPS, sborník XII. Mezinárodní Česko-slovensko-polské geodetické dny, Rožnov pod Radhoštěm 2006
- [20] TURISTIKA.CZ [online].
Dostupné na www: <<http://www.turistika.cz/mista/stonava>>
- [21] Vyhláška č.31/1995 Sb., kterou se provádí zákon č. 200/1994 Sb., o zeměměřictví a o změně a doplnění některých zákonů souvisejících s jeho zavedením
- [22] WIKIPEDIE (otevřená encyklopedie) [online].
Dostupné na www: <<http://cs.wikipedia.org/>>

12 Seznam obrázků

Obr. 1 Znak obce Stonava	2
Obr. 2 Poloha obce Stonava se zvýrazněním měřeného úseku [3].....	3
Obr. 3 Důl ČSM	5
Obr. 4 Plná účinná plocha pro vodorovně uložené ložisko [11].....	8
Obr. 5 Hranice poklesové kotliny u vodorovného ložiska [11]	9
Obr. 6 Pohyb bodů na svahu poklesové kotliny [17].....	10
Obr. 7 Určování vodorovných posunů za souřadnic [17].....	12
Obr. 8 Geometrická nivelace ze středu	15
Obr. 9 Leica NA 3003	17
Obr. 10 Vyznačení komparačních míst pro latě LEICA	17
Obr. 11 Interferometr Renishaw ML-10.....	18
Obr. 12 Třímetrová kódová nivelační lať LEICA	18
Obr. 13 Rozmístění družic na 6 oběžných drahách [14].....	21
Obr. 14 Přehled instalovaných stanic sítě CZEPOS.....	23
Obr. 15 GPS systém LEICA 1200.....	24
Obr. 16 Stabilizace a signalizace bodů pozorovací stanice.....	30
Obr. 17 Stabilizace nivelačního bodu Ge1-9	31
Obr. 18 Stabilizace nivelačního bodu Ge1-8.2	31
Obr. 19 Trasa připojovacího a ověřovacího měření [3].....	32
Obr. 20 Transformační klíč (body 30, 219 a 232)	33
Obr. 21 Stabilizace výchozího bodu č. 33.....	39
Obr. 22 Schéma vyrovnávaných bodů	40
Obr. 23 Izokatabázy (mm) z naměřených poklesů – 2.etapa	44

13 Seznam tabulek

Tab.č.1 Podrobné parametry digitálního nivelačního přístroje Leica NA 3003.....	16
Tab.č.2 Komparace kódované nivelační latě č. 27203 laserovým interferometrem	19
Tab.č.3 Komparace kódované nivelační latě č. 27188 laserovým interferometrem	19
Tab.č.4 Odchytky od správné délky laťového metru	20
Tab.č.5 Podrobné parametry GPS systému Leica 1200 s přijímačem ATX 1230	25
Tab.č.6 Ověření pomocí mezní odchytky mezi naměř.převýšením tam a zpět (Ge1-9 – Ge1-8.2) ..	34
Tab.č.7 Ověření pomocí mezní odchytky mezi daným a nově naměřeným převýšením	34
Tab.č.8 Vyrovnané výšky v pořadu Ge1-8.2 - 33.....	35
Tab.č.9 Ověření pomocí mezní odchytky mezi daným a nově naměř.převýšením (Ge1-8.2 - 33)..	35
Tab.č.10 Určení přesnosti připojovacího nivelačního pořadu (Ge1-8.2 - 33)	36
Tab.č.11 Parametry pořadů	36
Tab.č.12 Porovnání mezní odchytky nivelačního oddílu P16 - S22.....	37
Tab.č.13 Porovnání mezní odchytky nivelačního oddílu S22 - S31	38
Tab.č.14 Porovnání mezní odchytky nivelačního oddílu S31 - 326	38
Tab.č.15 Porovnání mezní odchytky nivelačního oddílu 326 - 33	38
Tab.č.16 Porovnání mezní odchytky nivelačního úseku P16 - 33	38
Tab.č.17 Interpolace a extrapolace výšek bodu č. 33.....	39
Tab.č.18 Výpočet poklesů bodů	41
Tab.č.19 Souřadnice bodů na pozorovací stanici	42

14 Seznam příloh

Příloha č.1: Nosič dat CD

Příloha č.2: Zápisníky výškového měření

Příloha č.3: Nivelační údaje bodů

Příloha č.4: Geodetické údaje bodů

Příloha č.5: Vyrovnávací počet

Příloha č.6: Přehled bodů pozorovací stanice

Příloha č.7: Graf poklesů bodů pozorovací stanice

Příloha č.8: Prostorový model a izokatabázy

Příloha č.9: Ověřovací protokoly invarové nivelační latě LEICA 3m